Dr. M. Wilh. Meyer

Erdbeben und Vulkane

Kosmos · Gesellschaft der Naturfreunde
Geschäftsstelle: Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.

EX LIBRIS



Erwin Grossmann

=KOSMOS=
Gesellschaft der Naturfreunde

Dr. M. Wilh. Meyer



Erdbeben und Vulkane

GERSTENLAUER & REISACHER STUTTGART

Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde

Erdbeben und Vulkane.



Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde, Stuttgart.

Die Gesellschaft Kosmos will die Kenntnis der Naturwissenschaften und damit die Freude an der Natur und das Verständnis ihrer Erscheinungen in den weitesten Kreisen unseres Volkes verbreiten. — Dieses Ziel glaubt die Gesellschaft durch Verbreitung guter naturwissenschaftlicher Literatur zu erreichen mittelst des

Kosmos, Handweiser für Naturfreunde
Jährlich zwölf Hefte. Preis M 2.80;

ferner durch Herausgabe neuer, von ersten Autoren verfaßter, im guten Sinne gemeinverständlicher Werke naturwissenschaftlichen Inhalts. Es erscheinen im Vereinsjahr 1908:

Meyer, Dr. M. Wilh., Erdbeben und Vulkane.
Reich illustriert. Geh. M 1.— = K 1.20 h ö. W.

Dekker, Dr. Herm., Naturgeschichte des Kindes.
Illustriert. Geh. M 1.— = K 1.20 h ö. W.

Sajó, Prof. Dr. K., Krieg u. Frieden im Ameisenstaat.
Reich illustriert. Geh. M 1.— = K 1.20 h ö. W.

Teichmann, Dr. E., Vererbung als erhaltende Macht.
Illustriert. Geh. M 1.— = K 1.20 h ö. W.

Floericke, Dr. K., Säugetiere des deutschen Waldes.
Reich illustriert. Geh. M 1.— = K 1.20 h ö. W.

Diese Veröffentlichungen sind durch alle Buchhandlungen zu beziehen, daselbst werden Beitrittserklärungen (Jahresbeitrag nur M 4.80) zum **Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde** (auch nachträglich noch für die Jahre 1904/07 unter den gleichen günstigen Bedingungen) entgegengenommen. (Satzung, Bestellkarte, Verzeichnis der erschienenen Werke usw. siehe am Schlusse dieses Werkes.)

Geschäftsstelle des Kosmos: **Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart.**

Erdbeben und Vulkane

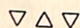
von

Dr. M. Wilh. Meyer.

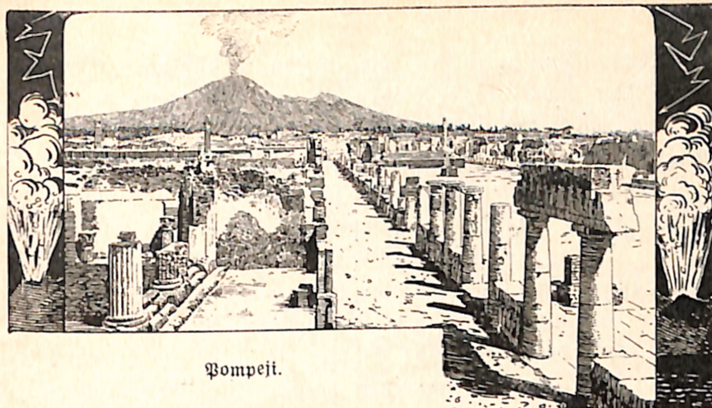
Mit zahlreichen Abbildungen.



Stuttgart
Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde
Geschäftsstelle: **Franckh'sche Verlagshandlung.**



Stuttgarter Setzmaschinen-Druckerei, G. m. b. H., Stuttgart.



Pompeji.

Von allen Naturerscheinungen, die sich auf der Oberfläche unseres Erdbodens abspielen, sind die der vulkanischen Ausbrüche und der Erdbeben bei weitem die gewaltigsten und schrecklichsten, denen gegenüber menschliche Gewalt vollkommen verschwindet. Gegen Sturm und Wassersnot, gegen die Verheerungen des Feuers und selbst die furchtbare Kraft des aus Wolken niederkrachenden Blitzes hat man Hilfe und Vorbeugungen gefunden. Was aber sollten wir gegen Gewalten tun, die ganze Kontinente erzittern machen, wie eine Tischplatte durch einen wuchtigen Hammerschlag? Oder gegen Explosionen aus der Tiefe, die ganze Berge in die Wolken blasen?

Die Erdbeben packen die Erde als ein Ganzes an. Die ganze Erde erzittert oft davon. Folgen von Vulkanausbrüchen haben sich in atmosphärischen Erscheinungen derart rings um unsern Planeten herum bemerkbar gemacht, daß außerirdische Beobachter davon Kenntnis erhalten haben müßten, wenn sie unsere wissenschaftlichen Hilfsmittel besäßen. Diese Äußerungen der Naturkräfte sind kosmischer Art, oder sie stehen doch in der Reihe unmittelbar zwischen den Mächten, die die Weltkörper durch die Himmelsräume führen, und jenen, die die segensreiche Entfaltung des Lebens rings um uns her geschaffen haben. Messen wir diese die ganze Erdoberfläche in Mitleidenschaft ziehenden Gewalten mit den im Kleinsten Großes schaffen-

den Wirkungen, an denen wir unsern menschlichen Maßstab ausgebildet haben, so erscheinen sie uns übergewaltig. Legen wir aber jenen kosmischen Maßstab an, mit dem wir die Himmelsräume und die Bewegungen der Weltkörper in ihren relativen Verhältnissen festlegen, so sind diese Zuckungen der Haut unseres Planeten verschwindend klein und ohne allen Belang für die kosmische Weltwirtschaft. Was sind denn diese Bewegungen einer kontinentalen Scholle um wenige Millimeter in der Sekunde gegen den Umschwung der Erde um sich selbst, durch den diese selbe Scholle (falls sie in äquatorialer Gegend liegt) nahezu um einen halben Kilometer in der Sekunde fortbewegt wird, oder mit der ganzen Erde um die Sonne mehr als 30 Kilometer zurücklegt? Und es gibt ferne Sonnen am Himmel, deren gewiß um das hunderttausendfache größere Masse von unvorstellbar großen Kräften in jeder Sekunde um Hunderte von Kilometern durch den Raum weitergetragen werden.

Wie würden wir Menschlein zermalmt werden, wenn wir wagen wollten, uns dem natürlichen Lauf dieser Mächte entgegenzustellen, die die Welten schaffen und regieren? Etwas Ähnliches aber tun wir in Wirklichkeit gegenüber diesen erdbildnerischen Gewalten. Der Werdegang der Welten ist für Menschenkinder unaufhaltsam, wie etwa ein auf seinen Schienen vorbeisausender Zug für Ameisen am Wege, deren Bauten von der Erschütterung zusammenbrechen. Unbekannt mit den Ursachen der über sie hereinbrechenden Katastrophen, bauen die Ameisen ihre Wohnungen wieder auf, es müßte denn sein, daß die Verheerungen sich allzu häufig wiederholten. Dann ziehen sie an einen andern, sichereren Ort. Tun wir Menschen das gleiche? Die Tiere haben den Instinkt, der sie schützt. Wir haben zu diesem Zweck unsern Verstand erhalten. Wir suchen daher nach den Ursachen der Erscheinungen, ehe wir ihnen handelnd entgegentreten. Die Frage nach den Ursachen der Erdbeben und Vulkanausbrüche ist von der vitalsten Bedeutung für das gesamte Menschengeschlecht, und nicht nur wer sich für die Erscheinungen der Natur, wie sie hier in ihrer machtvollsten Entfaltung unmittelbar vor Augen tritt, aus innerer Neigung interessiert, sondern jeder Mensch, der nicht gedankenlos in

den Tag hineinlebt, sollte sich über sie zu orientieren versuchen. Der Boden, auf dem er steht, ist ja der Schauplatz dieser furchtbaren Mächte, die ihn und alles in seiner Umgebung in der nächsten Sekunde vernichten können.

Erdbeben und Vulkanausbrüche! Sind das nicht zwei ganz verschiedene Erscheinungen, die ebenso verschiedene Ursachen haben können? Es ist die Regel, daß beide Erscheinungen getrennt auftreten. Wir müssen sie deshalb auch getrennt behandeln. Gemeinsam aber haben beide die Tatsache, daß ihr Ursprung im Innern der Erde zu suchen ist. Die Feuerströme kommen aus der Tiefe herauf und ebenso die gewaltigen Stöße, die, unvorhergesehener noch als die Arbeit der Vulkane, in wenigen Sekunden ganze Ländergebiete verwüsten. Wir haben uns also zunächst zu fragen, wie es im Innern der Erde aussieht, wo der Sitz dieser schrecklichen Reaktionen auf die bewohnte Oberfläche ist.

Wie aber können wir etwas Sicheres über dieses Erdinnere erfahren? Wir sind an die Oberfläche unseres Planeten gebannt. Wohl können wir ihn mit unserer Meßkette umspannen und wissen deshalb, daß der Weg von dieser Oberfläche bis zum Erdmittelpunkte am Äquator etwa 6380 km, dagegen am Pol etwa 20 km weniger beträgt, aber nur um zwei von diesen rund 6400 km, das heißt um weniger als den dreitausendsten Teil, haben wir uns bisher in einem Bohrloch diesem Mittelpunkte nähern können. Stellen wir uns die Erde als einen Globus von einem Meter Durchmesser vor, so wäre dieses Loch $1/7$ mm tief, d. h. es dränge eben nur durch das Papier auf dem Meterglobus. Aus direkter Anschauung ist also verschwindend wenig über die Geheimnisse des Erdinnern zu ermitteln.

Dennoch ist das, was wir so erforschen konnten, bedeutungsvoll. Wir nehmen wahr, daß von einer gewissen, zwischen 10 und 20 Meter schwankenden Tiefe an, bis zu der sich die veränderliche Oberflächentemperatur noch fühlbar macht, die Temperatur des Gesteins im allgemeinen mit je 30 Meter größerer Tiefe um einen Zentigrad wächst. Man nennt diesen Betrag von durchschnittlich 30 Metern die *geothermische Tiefenstufe*. An jenen tiefsten, von unsern Instrumenten erreichten

Stellen herrscht also bereits eine Temperatur von 60 bis 70 Grad.

Es ist die Frage, woher diese zunehmende Hitze stammt. Die Antwort, daß sie die Ausstrahlung eines sehr heißen Erdkernes sei, lag auf der Hand und war deshalb die zuerst allgemein angenommene Ansicht. Rechnet man mit jener Tiefenstufe von 30 Metern weiter, so gelangt man schon bei 60 km zu einer Temperatur von 2000 Grad, bei der die meisten uns bekannten Stoffe hier an der Oberfläche bereits in Schmelzfluß geraten würden, und bei 200 km müßte eine Temperatur herrschen, wie sie wahrscheinlich die Oberfläche der Sonne zeigt, die man heute auf etwa 7000 Grad schätzt. Eisen und alle andern Metalle der Sonnenoberfläche bilden dort eine leicht bewegliche Wolkendecke wie bei uns der Wasserdampf. Nach dieser Annahme würde die feste Kruste des Erdballs nur etwa ein Hundertstel seines Halbmessers betragen, von wo ab man die Gesteine in jenem glühenden Fluß anträfe, wie wir ihn aus den Vulkanen quillen sehen. Diese flüssige Schicht wäre dann etwa dreimal so dick wie die feste, und unter ihr befände sich ein gasförmiger Kern, dessen Durchmesser immer noch dreißigmal so groß wie die flüssige und feste Schicht über ihm. Solche Schlüsse aber sind zu vergleichen mit dem Versuch, die Temperatur eines Hochofens zu bestimmen, der 100 Meter von uns entfernt ist, während uns für unsere Untersuchungen ein Spielraum von 3 Zentimetern Annäherung gegeben ist.

Zunächst kann die Temperaturzunahme in den uns unzugänglichen Schichten ganz anders sein als oben, die Tiefenstufe kann z. B. beträchtlich zunehmen. Schon in den uns bekannten Gebieten der Erdoberfläche findet man große Abweichungen von der obigen Regel. So befindet sich im Rammelsberge am Harz bei einem der Stollen des Silberbergwerkes ein Hohlraum voll herrlicher Kupfervitriolkristalle, dessen Temperatur wesentlich höher ist als in dem Stollen gleicher Höhe. Die chemischen Prozesse, die hier arbeiten, erzeugen diese lokalisierte Temperaturerhöhung, die uns aber für die Folge zu denken gibt. Unter Wiesbaden hat man seinerzeit beim Graben eines Brunnens (jetzt sind solche unterirdischen Arbeiten in weiter Umgebung des berühmten Thermenortes nicht mehr gestattet) eine

so beträchtliche Temperaturzunahme gefunden, daß man beängstigt die Arbeiten einstellte. Man vermutet, daß in nicht allzugroßer Tiefe ein ausgedehntes, noch immer heißes Lavafeld von früher hier tätigen Vulkanen die Thermen Wiesbadens erzeuge. Unter solchen Verhältnissen würden wir also nach Durchdringung solcher vermuteten Lavaschicht in größerer Tiefe wieder eine Temperaturabnahme antreffen. Ferner zeigen die Erfahrungen an den großen Alpentunnels, daß die bloße Annäherung zum Erdmittelpunkte nicht die alleinige Ursache der sich erhöhenden Gesteinstemperatur sein kann, denn diese nahm in den Tunnels, die uns doch dem Erdmittelpunkte nicht näher brachten, ungefähr in dem Maße zu, wie wenn man um ebensoviel in das Erdinnere eingedrungen wäre, als die Höhe der überlagernden Gesteinsschichten beträgt. Aus den beobachteten Gesteinstemperaturen in den verschiedenen Stellen des Tunnels hätte man sowohl beim Gotthard wie beim Simplon in großen Umrissen das Profil des durchstochenen Gebirgsstockes berechnen können, während natürlich auch hier lokale Einflüsse, wie heiße Quellengänge, bedeutende Abweichungen hervorbrachten. In den beiden Tunnels (des Gotthard und Simplon) stieg die Temperatur gegen die normale Außentemperatur um 30—40 Grad, entsprechend einem durchschnittlich 1000 bis 1500 Meter über dem Tunnel liegenden Gebirgsmassiv. Hier ist es der Gesteinsdruck, der die Wärme erzeugt. Sie kommt hier also nicht, oder doch nur zum geringsten Teile aus dem Erdinnern, sondern von oben, aus den überlagernden Gesteinen, die sich mehr und mehr, infolge ihrer enormen Eigenschwere, zusammenpressen. Jedermann weiß, daß durch solches Zusammendrücken jedes beliebigen Stoffes Wärme erzeugt wird.

Ganz Umgekehrtes nehmen wir nun wahr, wenn wir uns unter der Meeresoberfläche mit unsern Thermometern dem Erdmittelpunkte nähern. Wir sind auf diese Weise schon 8000 Meter hinabgestiegen und damit dem Erdmittelpunkte viermal näher gekommen als in Bohrlöchern. Dabei wurde es aber immer kälter. In den größten Tiefen aller Meere herrscht als Folge des beständig von den Polen abfließenden schwereren Schmelzwassers eine konstante Temperatur von etwa 2 Grad

über Null, das sich deshalb stets längs des Meeresbodens hinbewegen muß. Bei Berücksichtigung der bloßen Annäherung zum Erdmittelpunkte kämen wir jedoch auf einen Hitzegrad von etwa 250 Grad. Solche beständig von unten zuströmende Wärme müßte das gesamte Wasser der Meeresbecken jedenfalls wärmer erhalten als es die Oberfläche der vom Mittelpunkte soviel entfernteren Kontinente ist.

Alle diese Beobachtungen sind unvereinbar mit jener Annahme einer in gleicher Weise fortschreitenden Temperaturzunahme über die Grenzen der direkten Beobachtung hinaus. Wollen wir etwas in dieser Hinsicht über den Zustand des Erdinnern erfahren, so müssen wir andere indirekte Forschungsmethoden anwenden, die bekanntlich auf den Gebieten der Physik und Astronomie nicht selten zu kaum weniger sicheren Schlüssen geführt haben, als die unmittelbare Wahrnehmung. Wir müssen uns theoretischen Betrachtungen zuwenden.

Wir wollen uns dabei von irgendwelchen hypothetischen Voraussetzungen möglichst freihalten und ganz besonders nicht die Kant-Laplacesche Idee über die Entstehung der Weltkörper voraussetzen, die, wie freilich in geologischen Kreisen noch wenig bekannt zu sein scheint, durch eine ganze Reihe von astronomischen Tatsachen mindestens in ihrer früheren Form als hinfällig zu betrachten ist. Ich habe darüber in meinem Kosmosbändchen über die Weltschöpfung eingehender gesprochen. Aber selbst, wenn sie noch Geltung hätte, dürften wir sie nicht als Ausgangspunkt nehmen, weil dadurch alle unsere Schlußfolgerungen, auf einer so unkontrollierbaren Hypothese aufgebaut, zu schwankenden Boden unter sich haben würden. Wir wollen also über die früheren Zustände des Erdkörpers gar nichts als bekannt annehmen; ja, es für möglich halten, daß die ganze Erde bis zu ihrem Mittelpunkte ebenso starr sei, wie ihre Oberfläche, wenn dagegen keine gegenwärtig zu beobachtenden Tatsachen sprechen, die wir etwa auch im Laboratorium sammeln können. Nach den gegenwärtig vom astronomischen Standpunkte wahrscheinlichsten Ansichten über die Weltbildung kann sich in der Tat ein Himmelskörper aus einer sich nach und nach zusammenfindenden Wolke von festen Meteorsteinen aufbauen.

Diese Ansicht haben namentlich der ältere Nordenskjöld und Lokyer vertreten. Wir kommen darauf noch zurück.

Die Druckverhältnisse im Erdinnern, von denen hiernach seine Temperatur, also auch sein Aggregatzustand abhängt, sind nun zwar nicht mit aller Sicherheit zu ermitteln, aber es läßt sich doch so viel sagen, daß, wegen der mit zunehmender Tiefe immer geringer werdenden Schwerkraft und den immer kleiner werdenden wirksamen Kugelschalen die Drucke zunehmen und also auch die der Temperatur gegen den Mittelpunkt immer geringer, die Tiefenstufe immer größer werden muß, mit andern Worten: die Temperatur des Erdinnern nähert sich gegen den Erdmittelpunkt hin einem konstanten Werte.

Dieser allgemeine Massendruck ist aber nicht die einzige Wärmequelle, die dem Erdinnern zur Verfügung steht. Wir haben bereits oben chemische Vorgänge angedeutet, durch die in der Tiefe Wärme erzeugt wird. Ferner können kristallisierende Massen, die sich dabei ausdehnen, einen erheblichen Druck auf ihre Umgebung ausüben, der dann eine lokalisierte Wärmequelle schafft. In jüngster Zeit aber hat man in dem immer noch so geheimnisvollen Radium eine ganz allgemeine Wärmequelle für das Erdinnere entdeckt, die allein vollkommen ausreichen würde, die beobachteten Temperaturverhältnisse der Oberflächenschichten zu erklären. Radium strahlt beständig Wärme aus, ohne dafür einen Ersatz nötig zu haben, das heißt, es ist eine beständig fließende Wärmequelle. Aus der Wärmemenge, die ein Gramm von ihm auf diese Weise in jeder Sekunde erzeugt, läßt sich nun finden, daß jeder Kubikmeter der Erdmaterie nur $1/_{6000}$ Milligramm dieser wunderbaren Substanz zu enthalten braucht, um dadurch die beobachtete Wärmestrahlung und Wärmeverteilung in der Erde zu erklären. Nun ist aber andererseits gefunden, daß die uns zugänglichen Erdschichten sogar durchschnittlich $1/_{200}$ Milligramm Radium enthalten. Es braucht deshalb nur eine obere Schicht von 73 km Dicke mit dieser Menge von Radium angefüllt zu sein und der ganze übrige Kern der Erde davon gar nichts mehr zu enthalten, um mit den Beobachtungstatsachen im Einklange zu stehen. Bei der immerhin zweifellos großen Hitze in diesen Tiefen muß in der Tat die „Radioaktivität“ aufhören. Wäre

also das Radium die alleinige Ursache der Wärme des Erdinnern, so käme man zu dem eigentümlichen Resultate, daß seine Temperatur nur bis zu einer gewissen Tiefe zunähme, dann aber nach dem Mittelpunkte wieder geringer würde. Sie brauchte dann nirgends, nicht einmal im Erdmittelpunkte, wesentlich über etwa 3000 Grad zu steigen.

Wir haben nun zwar vorhin den Druck der Schichten als eine notwendige Wärmequelle angesprochen.. Aber auch dies bedarf noch der Korrektur. Der Druck kann nur Wärme erzeugen, wenn die betreffenden Stoffe sich dabei auch wirklich zusammendrücken. Das Fallen der Moleküle gegen den Mittelpunkt bei diesem Druck gegen das Zentrum ist die Wärmequelle. Die Stoffe lassen sich aber nur bis zu einer bestimmten Dichtigkeit zusammenpressen. Sie werden schließlich vollkommen oder doch nahezu starr und können dann keine Wärme mehr erzeugen. Wann diese Starre eintritt, hängt von der Art und dem Aggregatzustande des Stoffes ab. Wir wissen davon nichts Sicheres in bezug auf den Erdkern. Jedenfalls aber ist es nicht zweifelhaft, daß die Stoffe des Erdkernes sich ihrem Maximum an Dichtigkeit bereits sehr genähert haben, und daß also die Fähigkeit der Erde, Wärme durch ihr allmähliches Dichter-, d. h. Kleinerwerden, zu erzeugen, nur noch gering sein kann.

Daß die Stoffe im Innern der Erde wesentlich dichter sein müssen als an der Oberfläche, beweist die durch genaue Messungen völlig sichergestellte Tatsache, daß die Erde 5,58 mal schwerer ist als eine gleichgroße Kugel aus Wasser, daß also die obige Zahl das mittlere spezifische Gewicht aller die Erde bildenden Stoffe ist. Die uns auf ihrer Oberfläche zugänglichen Stoffe sind dagegen nur 2,7 mal schwerer wie Wasser. Die in unerreichbaren Tiefen verborgenen Stoffe sind also schwerer wie der Durchschnitt. Wir kommen hierauf zurück.

Früher glaubte man, daß die Abplattung der Erde an ihren Polen, deren Größe den theoretischen Bedingungen einer flüssigen Erdkugel von der gegenwärtigen Umdrehungszeit nahezu entspricht, ein untrüglicher Beweis für den einstmals bis in ihr Innerstes glühend flüssigen Zustand sei. Aber auch diese Schlußfolgerung hat sich als irrig erwiesen. Man hat zeigen können, daß, selbst wenn die Erde ganz aus festem Eisen bestände,

doch die ungeheure Kraft ihres Umschwunges genügen würde, ihr allmählich die abgeplattete Form zu geben, die sie wirklich besitzt. Alle irdischen Stoffe sind plastisch ihm gegenüber. Es steht also auch von dieser Seite der Ansicht nichts entgegen, daß die Erde aus einer Ansammlung fester meteorartiger Körper sich vielleicht nur recht langsam zusammengesetzt habe, die einstmals einen Ring um die Sonne bildeten, wie jetzt der um den Saturn, von dem man bestimmt weiß, daß er aus einzelnen kleinen festen Körpern besteht. Der jedesmalige Aufsturz einer solchen kleineren Masse auf die im Ringe vorherrschende mußte wohl immer eine beträchtliche Wärme erzeugen, aber sie blieb doch auf die Oberfläche lokalisiert. Hiernach wäre es also wohl möglich, daß sich um einen von jeher festen Kern eine feuerflüssige Oberfläche bildete, und diese muß in der Tat einmal vorhanden gewesen sein. Überall, wo man genügend weit in die Tiefen der Erde zu dringen vermag, stößt man auf das sogenannte Urgestein, Glimmer, Gneis und Granit, deren mineralogischer Charakter keinen Zweifel läßt, daß sie einmal in Feuerfluß waren, aus dem sie langsam auskristallisierten. Sie sind, bis auf geringfügige Unterscheidungsmerkmale, den Laven gleich, die wir aus den Vulkanen quillen sehen. Die Erdoberfläche muß einstmals von einem glühenden Lavameere wenigstens teilweise umflutet gewesen sein. Wie tief dieses feuerflüssige Meer war, wissen wir nicht, aber es muß sich jedenfalls nach vielen Kilometern bemessen haben. Diese Tatsache können wir nun zur Grundlage weiterer physikalischer Betrachtungen über den Zustand wenigstens dieser nicht allzutief hinabreichenden Schichten des Erdinnern machen.

Das Glutmeer hat sich allmählich abgekühlt, wenigstens an seiner Oberfläche. Wie geschah dies? Man antwortete früher: Es bildeten sich Schlacken auf der Oberfläche, die auf der flüssigen Lava schwammen, wie Eis auf dem Wasser. Diese Schollen wuchsen und formten so schließlich die feste Kruste der Erde, unter der noch das ursprünglich glühend-flüssige Element herrscht, das von Zeit zu Zeit aus den Feuerschlünden der Vulkane an die Oberfläche gedrängt wird, weil dieser feste Panzer bei der fortgesetzten Abkühlung des Erdplaneten immer kleiner werden muß.

Aber auch diese Ansicht bedarf einer wesentlichen Korrektur. Die uns bei Wasser und Eis so selbstverständlich erscheinende Eigenschaft, daß das festwerdende Element auf dem flüssigen schwimmt, also leichter ist als dieses, stellt sich beim Wasser als eine seltene Ausnahme unter den auf der Erdoberfläche gegebenen physikalischen Bedingungen heraus. Bei weitem die meisten Körper sind in festem Zustande schwerer als im flüssigen und sinken also darin unter. Dies tut auch die festwerdende Lava, wenn sie nicht stark mit Gasen angefüllt ist, die sie beim schnellen Erstarren in Blasen festhält, wie z. B. beim Bimsstein. Wenn also auf unserm Lavameere sich Schollen bilden, so tauchen sie unter. Finden sie in nicht allzugroßer Tiefe einen festen Untergrund, einen starren Kern, so wächst also dieser von unten herauf durch die Abkühlung. Danach wäre es wohl möglich, daß die ganze Erde in der Hauptsache bereits fest sei, wenigstens, wenn die an den Vulkanen beobachteten Erscheinungen nicht mit Notwendigkeit auf ein allgemeines glutflüssiges Innere schließen lassen, worauf wir erst später zurückkommen.

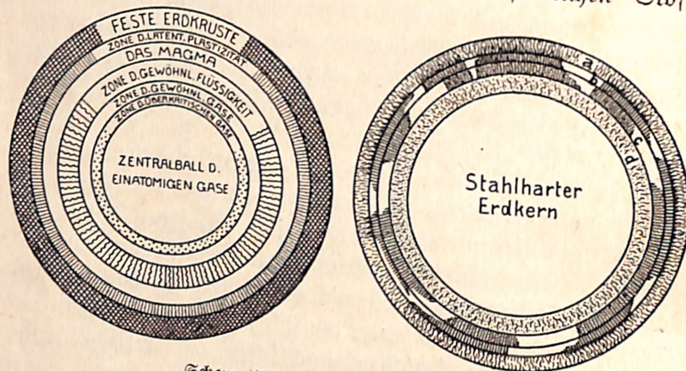
Doch auch hier liegen die Dinge wieder physikalisch nicht so einfach. Wir wissen schon, daß der Druck sich in der Tiefe wesentlich steigert. Versuche haben erwiesen, daß der *Schmelzpunkt*, das heißt die Temperatur, bei der ein Körper aus dem festen in den flüssigen Zustand übergeht, sich bei höherem Drucke beständig steigert, jeder Körper schmilzt um so schwerer, je stärker er zusammengepreßt wird. Es können nun zwei Fälle eintreten. Die untersinkende Scholle kann bald so hohe Temperaturen antreffen, daß der gleichfalls erhöhte Druck in der betreffenden Tiefe nicht hinreicht, um die Schmelztemperatur für den betreffenden Stoff im gleichen Maße zu erhöhen, wie die Temperatur selbst zunahm; dann muß sich die Scholle in einer gewissen Tiefe wieder auflösen. Als Flüssigkeit strömt die Masse wieder zur Oberfläche empor. Dieser Vorgang wiederholt sich periodisch. Es entsteht ein pulsierendes Auf- und Niederströmen. Auf diese Weise wären die *Periode der Sonnenflecke* und überhaupt die eruptiven Erscheinungen der Sonnenoberfläche zu erklären. In den Kosmosbändchen über die „*Weltschöpfung*" und über „*Sonne und Sterne*"

kann man mehr darüber lesen. Wenn aber der Druck sich nicht in entsprechendem Maße steigert wie die Temperatur der betreffenden Schichten, so wird die Schmelztemperatur auch in der Tiefe für die untersinkende Scholle nicht mehr erreicht, dagegen trifft sie nun auf eine Schicht, die auch im flüssigen Zustande schwerer ist als die bis hierher niedergesunkene feste Scholle, die also nun hier *wie Eis auf dem Wasser schwimmt*. *Tammann* hat erst in jüngster Zeit betreffende experimentelle Untersuchungen mit Drucken bis zu 10 000 Atmosphären angestellt und glaubt daraus folgern zu können, daß die meisten Stoffe der Erdrinde solche kritische Druck- und Temperaturverhältnisse in einer ursprünglich flüssigen Erdkugel finden würden, um in einer bestimmten Tiefe fest auf einer flüssigen Schicht zu schwimmen. *Es entsteht also eine feste Kugelschale, über und unter der flüssiges Magma, glühend flüssiges Gestein, sich befinden muß.*

Nun ist aber jene „kritische" Temperatur und Dichtigkeit, bei der unter wechselndem Druck der übergang zwischen dem flüssigen und festen Zustande eintritt, für jeden Stoff verschieden. Die verschiedenen Stoffe müssen also auch in verschiedenen Tiefen solche festen Kugelschalen bilden. Es entstehen demnach deren mehrere, die sich ineinanderschachteln und zwischen sich flüssige Schichten einschließen. Bei fortschreitender Abkühlung wächst jede dieser Kugelschalen sowohl nach außen wie nach innen weiter. Innen aber wird der sich ankristallisierenden und dabei ausdehnenden Kugelschale der Raum zu eng. Es entstehen gewaltige Spannungen, die sich in einem Durchbruch der Schale nach außen hin und Entleerung eines Teiles des glühend flüssigen Innern befreien müssen. Die aufgebrochenen Teile der Kugelschalen werden dann Pfeiler und Brücken zwischen einander bilden. Wir kommen so auf rein physikalischem Wege zu der sehr merkwürdigen Ansicht über das Erdinnere, daß es selbst bis zum Mittelpunkte des Planeten aus einer Art von ungeheurem Zellgewebe, aus Kammern und größeren Teilen von Kugelschalen aufgebaut sein müsse, in denen flüssiges Gestein eingeschlossen ist. Die Erde wäre also mit einer Fruchtkapsel zu vergleichen, die von vielen, aus Zellen

gebildeten Häuten umgeben ist. Da das Innere der Erde die dichteren, schwerer zu verflüssigenden Stoffe enthält, so würde aus dieser Theorie folgen, daß mit großer Wahrscheinlichkeit der eigentliche Kern der Erde fest sei.

Diese Schlußfolgerungen wären unantastbar, wenn die Druck- und Temperaturverhältnisse im Erdinnern nicht bei weitem die Grenzen unserer Möglichkeiten im Laboratorium überschritten, so daß praktische Erfahrungen unsere theoretischen Perspektiven nicht kontrollieren können. Es ist deshalb doch von einer bestimmten Tiefe an eine so große Temperatursteigerung möglich, daß sie trotz der Erhöhung des Schmelzpunktes durch den Druck diesen Grad für alle dort befindlichen Stoffe



Schematischer Schnitt durch die Erde
nach Günther — nach Johnson.

überschreitet. Dann würde sich also doch unter der festen Erdkruste überall feuerflüssige Masse befinden, die einen zwar sehr zusammengepreßten, gasförmigen Kern umschließt.

Es stehen sich so gegenwärtig zwei sehr verschiedene Ansichten über das Erdinnere gegenüber, die beide unter den Fachmännern viele Anhänger haben. Die letztere Ansicht wird namentlich von S. Günther vertreten. Danach sieht das Erdinnere etwa so aus, wie es das beistehende schematische Bild veranschaulicht. Unter der festen Kruste muß sich eine plastische Schicht befinden, die weder ganz fest noch flüssig ist und also dem Druck nachgibt. Dann kommt das zähflüssige Magma, weiter darunter eine eigentlich flüssige Schicht, die in eine gasförmige

übergeht. Wieder tiefer muß dann unter jener Voraussetzung eine Temperatur herrschen, bei der auch die Doppelatome der gewöhnlichen Gase auseinandergerissen werden, und der Erdkern selbst besteht nur noch aus einatomigen Gasen, die den Urzustand der Materie bilden, und aus denen sich erst bei sinkender Temperatur die eigentlichen Elemente, so wie wir sie kennen, zusammensetzen.

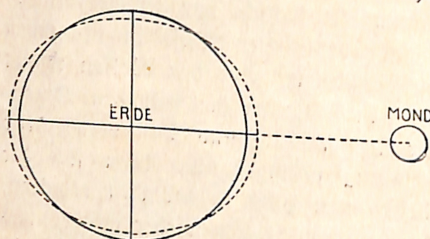
Man kann sich die Entstehung eines solchen Aufbaues aus einem zuerst gasförmigen Weltkörper recht gut durch die Vorgänge veranschaulichen, wie sie uns unsere Atmosphäre vor Augen stellt. Der in ihr enthaltene Wasserdampf kondensiert sich bei sinkender Temperatur oder auch sinkendem Druck zu Nebel, das heißt, er beginnt sich zu verflüssigen. Die Wolkendecke der Atmosphäre, über und unter der sich Luftschichten befinden, versinnlicht uns, wenn auch zwischen zwei andern Aggregatzuständen, jene Tammannsche Schicht von Kondensationsprodukten, die sich in einer bestimmten Tiefe in demselben Medium befindet, das sie ausscheidet. Aus den Wolken regnet es beständig herab, aber häufig treffen die fallenden Regentropfen unter der Wolke Temperatur- und Druckverhältnisse an, die ihre Wiederauflösung bedingen. So kann sich die Wolkenschicht in einer bestimmten Höhe in der Luft erhalten, indem sie oben durch Kondensation immer wieder ersetzt, was sie unten durch Auflösung verliert. Die Wolkenschicht selbst ist also nur ein Übergangsgebiet, durch das immer andere Wasserteilchen wandern, sie ist nur scheinbar beständig. Ganz ähnlich kann man sich die flüssigen und festen Kugelschalen vorstellen, die sich nach der hier vorgetragenen Ansicht im Innern der Erde bilden und immer wieder vergehen. Das scheinbare Schweben von Flüssigem über einem gasförmigen Kerne bietet dann unserer physikalischen Anschauung keine Schwierigkeiten mehr.

Der hier skizzierten Ansicht über die Zustände des Erdinnern steht nun die vorhin entwickelte gegenüber, nach der der Erdkern sogar eine stahlharte Masse sein kann, und die jedenfalls annimmt, daß unter einer feuerflüssigen Schicht, die man, vielfach von festen Zwischenräumen in Kammern eingeteilt, unter der Oberflächenkruste antreffen müsse, sich wieder

eine durchweg feste „Kristallisationszone" befindet, die nach beiden Seiten beständig mit der Abkühlung wächst. Wir geben auch von diesem Aufbau ein schematisches Bild (S. 16). Darin bezeichnen unter der festen Kruste a, die beiden Zonen b und c Gebiete, die in einzelnen „Kammern" magmatische Flüssigkeit enthalten, ohne ein durchgehendes Magmameer zu bilden. Die feste Kruste wächst nach unten, indem sie ihr Material dazu von der Zone b entnimmt. d ist die „Kristallisationszone", die ihrerseits auf Kosten der Zone c nach oben hin wächst.

Es wird sich nun im folgenden darum handeln, durch weitere Beobachtungstatsachen für die eine oder die andere dieser Ansichten Gewichte in die kritische Wagschale zu sammeln.

Da sind nun in neuerer Zeit eine Anzahl von schwerwiegenden Untersuchungen angestellt, die durchaus für einen festen Erdkern eintreten. Zunächst ist hier nach Kelvin die Erscheinung der Gezeiten (Ebbe und Flut) ins Feld zu führen. Mond und Sonne ziehen bekanntlich den Wassermantel der Erde im besonderen derart an, daß ein Wasserberg sich diesen Gestirnen beständig zuwendet, dem ein anderer auf der entgegengesetzten Seite des Planeten gegenübersteht. Beide wandern also um die rotierende Erde. Diese Erscheinung ist aber nur möglich unter der Voraussetzung, daß die Erdkugel als Ganzes diesem besonderen Zuge nicht nachgeben kann, daß sie also starr ist. Die Erdoberfläche selbst ist dies zwar auch bis zu einem gewissen Grade; befindet sich aber unter ihr ein flüssiger oder gar gasförmiger Kern, so muß dieser auch Gezeiten besitzen und die zum größeren Teile plastisch nachgiebige Oberfläche mit heben und senken. Dann könnten wir aber am Wassermantel der Meere solches gar nicht mehr wahrnehmen, weil eben Meer und Land gleichzeitig sich heben und senken müßten.



Entstehung von Ebbe und Flut durch die Mondanziehung.

Ebbe und Flut beweisen also nach jenem Forscher, daß der Erdkern höchstens die Elastizität des Glases haben könnte. Im weiteren rechnerischen Verfolge dieser Frage hat G. H. Darwin gezeigt, daß bei einer sehr geringen Nachgiebigkeit des Erdkernes eine besondere 14tägige Flut eintreten müßte, von der man in der Tat Spuren beobachtet hat. Daraus würde folgen, daß die Erde so hart wie Stahl bei gewöhnlichen Temperatur- und Druckverhältnissen ist.

Nun gibt es noch eine andere besondere Anziehung, die Sonne und Mond auf die Erdkugel ausüben, und die durch astronomische Beobachtungen auf das genaueste verfolgt werden kann, die sogenannte Präzession der Nachtgleichen und die mit ihr verwandte Nutation der Erdachse. Beide drücken sich aus als Richtungsveränderungen der Erdachse gegen die festen Sterne hin, die die ganze Erdkugel mit der in ihr völlig fest gedachten Achse ausführt. Die Präzession führt diese Richtung der Erdachse in etwa 26000 Jahren in einem großen Bogen unter den Sternen herum, so daß zum Beispiel in etwa 12000 Jahren Wega, die gegenwärtig mehr als 50 Grade vom Pole absteht, Polarstern sein wird. Außer dieser größeren langsamen Bewegung besitzt aber die Erdachse noch eine kleinere, die etwa innerhalb 19 Jahren ihre Richtung in einer Ellipse von 19 und 14 Bogensekunden herumlaufen läßt: die Nutation. Beide Bewegungen entstehen durch die besondere Anziehung, die Sonne und Mond auf die Äquatoranschwellung der abgeplatteten Erde ausüben, weil die Bahnen der Erde und des Mondes um die Sonne nicht in der Ebene des Erdäquators liegen. Dadurch entsteht ein Spiel der mechanischen Kräfte, das man sich etwa durch folgende Konstruktion veranschaulichen kann. Wir befestigen eine abgeplattete Kugel, die Erde, so an einem elastischen Bande, daß wir sie daran im Kreise umschwingen können. Die Schwungkraft hält dann der durch das elastische Band repräsentierten Anziehungskraft die Wage. Unsere Hand vertritt dabei die Sonne. Das elastische Band aber muß im Mittelpunkte der Erde angebracht werden, denn in diesem greift die Anziehungskraft für die gesamte Erde an. Wie wir nun die Achse der abgeplatteten Kugel legen, ist offenbar einerlei; sie hat vor der Hand keine Veranlassung, sich

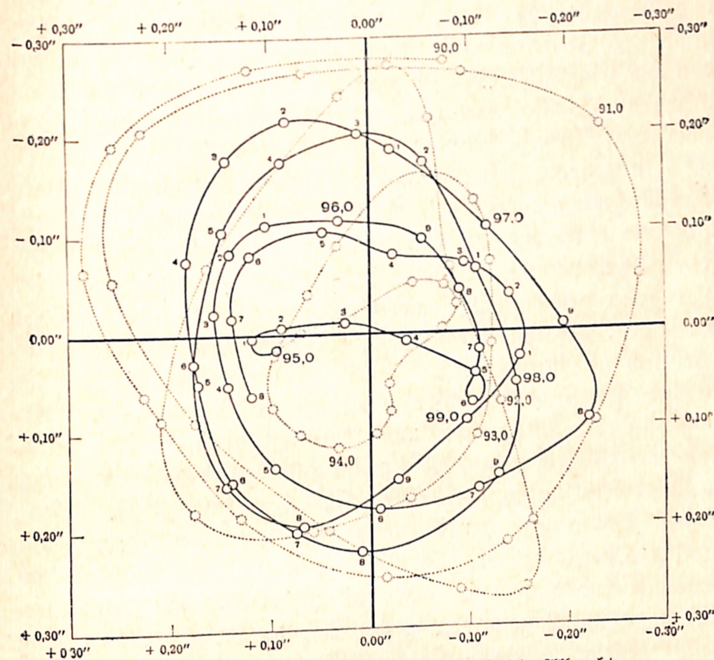
bei dem Experimente zu verändern. In Wirklichkeit wird diese feste Lage der Erdachse durch die tägliche Umdrehung gesichert, ebenso, wie ein Kreisel sich nicht ohne kräftigen Anstoß aus seiner Lage bringen läßt. Wir wollen aber hier der Einfachheit wegen von dieser täglichen Bewegung der Erde absehen. Wir stellen die Erdachse in einen Winkel von etwa 23½ Grad, der sogenannten Schiefe der Ekliptik, gegen die Ebene der Erdbahn. Nun aber zeigt die Theorie, daß die Anschwellung am Erdäquator noch im besonderen von der Sonne angezogen wird, und dies können wir durch ein zweites, viel weniger ziehendes elastisches Band versinnlichen, das wir irgendwo am Äquator der Erde befestigen und beim Umschwung des Ganzen gleichfalls in unserer Hand halten. Dieses Band wird offenbar die Erdachse aufzurichten trachten, so daß sie senkrecht zur Erdbahn steht, aber die Wirkung wird übers Ziel schlagen, die Erdachse pendelt um jenen Winkel der Schiefe der Ekliptik hin und her. Dies ist die Präzessionsbewegung. Die Nutation entsteht auf dieselbe Weise durch die besondere Anziehung des Mondes.

Nun wird man aber ohne weiteres begreifen, daß solche Wirkungen nur unter der Voraussetzung einer starren Erdkugel eintreten. Ist die Erde selbst elastisch, etwa wie ein Gummiball, so wird sie ihren Körper entsprechend jenen seitlich angreifenden Kräften umformen, sie wird „nachgeben". Ganz besonders müßte dies bei einem glühend flüssigen oder gar gasförmigen Innern der Fall sein. Die Präzession spricht also auch für einen wenigstens nahezu starren Erdkern.

Und nun muß ich den Leser noch mit einer theoretischen Betrachtung quälen. Solche theoretischen Untersuchungen geben gewissermaßen unserem Verstande ein verschärfendes Instrument in die Hand, mit dem man oft viel weiter zu sehen vermag als mit unsern mächtigsten Teleskopen, und das hier unsern geistigen Blick in die ewig unerreichbaren Tiefen der Erde versenken soll.

Schon vor etwa einem Jahrhundert hatte der eminente Mathematiker Euler gezeigt, daß aus den tatsächlichen Bewegungen der Erdachse, die wir als Präzession und Nutation kennen gelernt haben, unter der Voraussetzung, daß die Erde ein starrer Körper sei, die Notwendigkeit einer dritten Be-

wegung folgt, die die Erdachse im Erdkörper selbst ausführt, so daß also die geographische Breite jedes Ortes sich periodisch veränderlich zeigen müsse. Für einen völlig starren Erdkörper fand Euler diese Periode zu 305 Tagen. Nun sind solche „Polhöhenschwankungen" zuerst von Küstner in Berlin vor etwa zwei Jahrzehnten wirklich entdeckt und inzwischen durch einen internationalen Dienst auf das genaueste verfolgt



Die Polwanderungen 1890 bis 1899. Nach Th. Albrecht.

worden. Das beistehende Diagramm zeigt, wie seit 1891 das Ende der Erdachse auf der Erdoberfläche unstet umhergewandert ist, freilich nur um sehr geringe Beträge von 15 bis höchstens 20 Metern, wie sie auch theoretisch nicht größer vorauszusetzen waren. Eine deutliche Periode war aber zunächst nicht in dieser im ganzen wohl kreisenden Bewegung zu erkennen. Es mußten noch andere Einflüsse auf diese Schwankungen des Erdkörpers wirken, wie es auch wieder die Theorie notwendig machte. Jede Verschiebung von Massen auf der Erdoberfläche,

z. B. durch das Spiel der meteorologischen Erscheinungen, die im Jahreswechsel große Wassermassen einmal festhalten und dann wieder zu andern Teilen der Erde transportieren, müssen die Erdachse aus ihrer Ruhelage stören. Bei genauerem Hinblick aber konnte man doch, wie *Chandler* nachwies, in jenen Polschwankungen eine Periode von 427 Tagen auffinden, die also größer war als die von Euler errechnete. Daraus folgt nun, daß die Erde zwar nicht, wie es eine Periode von 305 Tagen bewiesen hätte, eine völlig starre abgeplattete Kugel ist, sondern daß ihre Elastizität etwa zwischen der des Glases und des Eisens liegen muß. Also wieder ein schwerwiegendes Argument gegen das feuerflüssige Erdinnere.

In neuerer Zeit hat nun *Wiechert* eine ziemlich schwierige Rechnung ausgeführt, die sich die Frage stellte, wie groß und wie dicht der Erdkern und die darüber lagernde Rinde sein müsse, wenn beide voneinander scharf getrennt und in sich gleichartig angenommen werden könnten, was aus manchen Tatsachen, auf die wir *zum Teil* zurückkommen, als wahrscheinlich anzunehmen ist. Dabei soll diese Erdkugel den tatsächlich stattfindenden Verhältnissen der Schwere, der Abplattung, der Präzession und Nutation genügen. Er findet, daß der Erdkern etwa 5000 km im Halbmesser haben und etwa so dicht sein müßte wie Eisen (8,206 gegen 7,2 für Eisen). Seine Abplattung wird gleich $1/_{330}$ gefunden, gegen $1/_{300}$ an der Oberfläche. Die über diesem Kern liegende Schale hat demnach eine Dicke von 1400 km. Ihre Dichtigkeit wird theoretisch zu 3,098 gefunden, gegen 2,7, die die Oberfläche selbst besitzt. Dieses Resultat vereinigt jedenfalls alle tatsächlich wahrgenommenen Erscheinungen am besten. Es besagt, daß die Erde zu etwa 4 Fünfteilen ihres Durchmessers aus einem eisenharten Kerne bestehen müsse, ein recht beruhigendes Ergebnis für die Solidität unseres Wohnsitzes gegenüber der früheren Ansicht, die uns auf eine Eischale stellte, unter der ein ewiges Feuermeer sich in schrecklichen Paroxismen zu befreien suchte.

Wir nannten den Erdkern *eisenhart*. Ob er wirklich aus Eisen besteht, läßt sich natürlich nicht nachweisen. Aber im Hinblick auf die fast allgemeine Verbreitung des Eisens im Weltenraume, die uns das Spektroskop und die von dort herab-

fallenden Eisenmassen verraten, ist ein wirklich eiserner Kern zweifellos das Wahrscheinlichste. Bestehen also die Weltkörper überhaupt zum größten Teile aus Eisen, so müssen auch die Bruchstücke zertrümmerter Welten, die sich irgendwie zu einer neuen Schöpfung zusammenfinden, eben auch wieder einen Weltkörper mit eisernem Kern bilden. Nur von der Geschwindigkeit, mit der diese einzelnen Trümmer wieder zu einem größeren Körper vereinigt werden, hängt dann dessen innere Temperatur ab. Fallen die einzelnen Teile nur in längeren Zwischenzeiten auf einen größeren, der als Urkern des werdenden Weltkörpers auftritt, so kann dieser dauernd fest bleiben und sich nur beim Aufsturz eines „Meteoriten“ von Weltkörperausdehnung, der dadurch eine größere Wärmemenge freimacht, mit einer feuerflüssigen Schicht überziehen, die sich ziemlich schnell wieder abkühlen wird. Die Erscheinungen sogenannter neuer Sterne, wovon ich in den schon früher erwähnten Kosmosbändchen gesprochen habe, deutet man durch ähnliche Vorgänge. Auch diese Sterne leuchten nur vorübergehend auf, woraus wir zu schließen haben, daß die durch den Aufsturz erzeugte glühende Schicht nicht sehr dick gewesen sein kann. Aber es wird sich während eines derartigen Wachstums des jungen Weltkörpers Schicht auf Schicht legen, wodurch wir dann die Entstehung einer sehr mächtigen Kruste kristallinischen Urgesteins, wie sie die Erde besitzt, wohl erklären können. Selbst wenn der Weltkörper, aus dem sich ein ganzes Sonnensystem bilden soll, ursprünglich eine Gasmasse gewesen ist, wie wir sie in den Spiralnebeln vor uns haben, so kann man sich denken, daß diese Gasmasse in eine große Zahl kleiner Körper zerfallen könnte, die sich zu festen Meteoriten verdichten und abkühlen, noch ehe sie sich wieder mit einem größeren Körper vereinigen. Also auch unsere Erfahrungen an andern Weltkörpern und unsere modernen Ansichten über die Entstehung der Erde bieten uns keine Schwierigkeiten, einen festen Erdkern als möglich anzunehmen.

Schließlich haben wir noch anzuführen, daß auch der *Erdmagnetismus* das Vorhandensein eines eisernen Erdkerns wahrscheinlich macht.

Dennoch können alle diese theoretischen Betrachtungen uns eine Gewißheit über die Zustände des Erdinnern nicht geben. Die

Beobachtung muß uns noch weitere Anhaltspunkte bieten. Dies führt uns auf die Frage zurück, was denn die beiden urgewaltigen Äußerungen des Erdinnern, die Erdbeben und die Vulkanausbrüche, uns über seinen Zustand verraten können, und ob sie vielleicht für die eine oder die andere Ansicht, die des gasförmigen oder des festen Erdkernes, den Ausschlag geben. Wir wenden uns deswegen zunächst den Erscheinungen der Erdbeben zu.

Diese furchtbaren Wirkungen kommen ja auf das deutlichste aus dem Innern der Erde. Schreckliche Stöße erfolgen von dort her, die die feste Scholle, auf der wir vertrauensvoll unsere Wohnsitze errichtet haben, wie ein bewegtes Meer wogen lassen, klaffende Spalten auf Kilometerlänge aufreißen und das Meer in verheerenden Springfluten weit über das Land treiben. Diese furchtbarsten aller Naturereignisse, vor denen es kein Entrinnen gibt, und die aus heiterm Himmel über ganze Länderstrecken in wenigen Sekunden Tod und Verderben bringen, haben ihren Ursprung in jenen geheimnisvollen Tiefen, in die unser geistiges Auge zu dringen versuchen muß, um durch besseres Wissen diese Schrecken vielleicht einmal vermindern zu lernen. Erforschen wir also zunächst die Erscheinungen der Erdbeben selbst, um in ihnen vielleicht Gesetzlichkeiten zu entdecken, die unsern Blick in diese Tiefen zu klären imstande sein könnten.

Eine leider nur zu große Fülle von Erscheinungen ist zu sichten und zu ordnen. Wir sehen dabei zunächst einmal von den offenbar durch vulkanische Explosionen hervorgebrachten Erderschütterungen ab, weil wir uns mit den vulkanischen Erscheinungen erst später beschäftigen wollen. Die Erde erbebt bekanntlich auch, wo in weiter Umgebung kein Vulkan vorhanden ist, oder in vulkanischen Gegenden, während keiner der zahlreichen miterschütterten Feuerschlünde irgendeine Änderung in seiner Tätigkeit aufwies. Gerade die, von den sichtbaren Vulkanen unabhängigen Erdbeben sind die verheerendsten und ausgedehntesten und auch bei weitem die häufigsten. Der aus der Tiefe heraufkommende Stoß erschüttert oft ganze Ländergebiete gleichzeitig, und die wellenförmig sich ausbreitende Nachwirkung umkreist nach Ausweis der neuen feinfühligen Instru-

mente zuweilen die ganze Erde. Für diese weitverbreiteten Beben müssen wir also Ursachen in Anspruch nehmen, die gewissermaßen auf der Basis ganzer Kontinente stehen. Beide Arten von Beben, die von einem kleinen Gebiet ausstrahlenden, und die einen großen Umkreis gleichzeitig erschütternden, zwischen denen man noch solche einordnen kann, die längs einer schmalen langgestreckten Zone, z. B. längs eines Gebirgsrandes, gleichzeitig auftreten, können bis zu höchster Stärke ansteigen. Es scheint also den Kräften, die hier wirken, gleichgültig zu sein, ob sie ganze Kontinente bewegen oder nur eine kleine Scholle Landes.

Bei weitem in den meisten Fällen werden die gesammelten Beobachtungen allerdings nur ein verhältnismäßig kleines Gebiet herausfinden lassen, wo der Stoß zuerst wahrgenommen wurde. Dieses Gebiet nennt man das Epizentrum. Hier ist der Stoß auch am stärksten, und er erfolgt, soweit man ermitteln konnte, senkrecht von unten herauf. Man konnte also wohl voraussetzen, daß senkrecht unter diesem Epizentrum in unbekannter Tiefe die Ursache des Stoßes zu finden sein müsse. Diesen unbekannten Sitz der wirkenden Kräfte nennt man den Erdbebenherd, oder das Hypozentrum. Hier ist das Geheimnis verborgen, das wir zu ergründen haben.

Um das Epizentrum breitet sich eine Zone, in der das Beben merklich später eintrifft, gelegentlich aber sogar noch eine verheerendere Wirkung übt als im Epizentrum, weil hier der zwar in seiner Kraft selbst abgeschwächte Stoß etwas seitlich angreift und dadurch Bauwerke rc. leichter zu Fall bringt, als wenn sie nur senkrecht emporgeschnellt werden. Um diese Zone legt sich in noch größerer Entfernung eine dritte, wo die Erzitterung des Bodens noch später, aber nur noch mit den betreffenden wissenschaftlichen Instrumenten wahrgenommen wird, mit denen wir uns noch näher zu beschäftigen haben. Wir wollen zunächst die Erscheinungen ins Auge fassen, die im Epizentrum und seiner näheren Umgebung auftreten.

Der erste Stoß, den die unterirdischen Mächte gegen die Erdoberfläche führen, ist gewöhnlich auch der heftigste. Er kommt ganz unvermittelt, wenn man von gewissen leisen Erzitterungen und Bewegungen der Magnetnadel absieht, die man

erst in jüngster Zeit als Vorboten erkannt zu haben glaubt. Es mögen solche Erzitterungen sein, die von den feinfühligen Tieren empfunden werden, die gelegentlich schon stundenlang vor einem heftigeren Erdbeben besonders unruhig zu werden pflegen, wenn die betreffenden Beobachtungen auf mehr als Zufälligkeiten beruhen. In den von Beben häufig betroffenen pazifischen Küstengebieten Südamerikas hält man sich Hunde und Katzen als Warner, die die Häuser verlassen, wenn ein Beben bevorsteht. Auch an Hühnern, Eseln ꝛc. will man entsprechende Anzeichen bemerkt haben. Eine auf den westindischen Inseln als Mäuse vertilgendes Haustier gehaltene Schlange verläßt ihre Schlupfwinkel in Mauerlöchern, wo sie ja in der Tat bei einem Erdbeben leicht zermalmt werden könnte.

Vielleicht hängt dieser Umstand mit der ungemeinen Feinhörigkeit der Schlangen zusammen, wodurch sie das einem Beben häufig vorausgehende unterirdische Geräusch weit eher vernehmen als der im allgemeinen im Vergleich zu den Tieren mit recht stumpfen Sinnen begabte Mensch. Diese oft zu Schrecken erregender Größe anschwellenden *Erdbebengeräusche* sind von verschiedenster Art. Sie sind aber keineswegs immer von Beben begleitet, wie auch solche Geräusche an manchen Orten lange Zeit hindurch wahrgenommen wurden, ohne daß überhaupt ein Beben eintrat. So hörte man von Mitte Januar bis Mitte Februar 1784 in einer Landschaft Mexikos ein beständiges, meist langanhaltendes unterirdisches Donnerrollen, das von plötzlichen Donnerschlägen unterbrochen wurde und die Einwohner derart beängstigte, daß sie die Stadt verließen und sich im freien Felde einrichteten. Aber es erfolgte keinerlei Bodenerschütterung oder vulkanische Erscheinung. Das Geräusch hörte ohne alle erkennbare Ursache wieder auf, wie es begonnen hatte. Ähnliches ist an verschiedenen Orten wiederholt beobachtet worden. Nicht selten treten ganz vereinzelte *Bodenknalle* auf, die namentlich auf dem freien Lande, wo andere Geräusche weniger stören, ziemlich häufig und über die ganze Erde verbreitet, gehört werden. Besonders oft kommen aus Holland und Belgien solche Berichte über beobachtete „Mistpöffers", wie man sie dort nennt. Vielfach hat man die Erscheinung jedoch mit atmosphärischen Vorgängen in Verbindung gebracht. Die unzweifel-

haften Erdbebengeräusche werden häufig mit einem unheimlichen Brausen, Heulen und Gurgeln in der Tiefe verglichen, dann wieder mit Orgeltönen und Pfeifen; an andern Orten rollte, krachte, klirrte es unter den Füßen, dann war es wieder ein Geräusch wie von einem über schlechtem Pflaster vorüberfahrenden schweren Lastwagen. Irgend ein gesetzmäßiger Zusammenhang zwischen der Art, dem Beginn und der Zeitdauer dieser Geräusche und der an der Erdoberfläche beobachteten Erscheinungen des Bebens ist nicht vorhanden.

Das Beben selbst beginnt fast stets mit einem plötzlichen Stoß, wodurch sich dieses Naturereignis von allen andern unterscheidet, um es zu dem grausamsten unter ihnen zu machen. Die Stürme, die Gewitter, selbst die Vulkanausbrüche, diese freilich mit Ausnahmen, die wir noch kennen lernen werden, steigern ihre Kraft allmählich bis zu ihrem höchsten Paroxismus. Bei den Erdbeben ist der erste Stoß in der Regel der stärkste, worüber man sich freilich deshalb täuschen kann, weil bereits beim ersten Stoß, wenn er kräftig genug ist, alles verwüstet wird, so daß die nachfolgenden, mögen sie auch mit nicht minderer Kraft geführt werden, nichts mehr zu zertrümmern finden, und nur daher geringer erscheinen. Genaue, von der menschlichen Ohnmacht in solchen Schreckensaugenblicken unabhängige Beobachtungen liegen nicht vor, denn die feinen seismographischen Instrumente fallen natürlich im Epizentrum am ersten der Vernichtung anheim. Es hat Erdbeben gegeben, die ihre verheerenden Wirkungen in einem einzigen momentanen Stoße ausübten, worauf die Erde völlig still blieb. Das schreckliche Beben von *Caracas* am 26. März 1812 dauerte nur 3 bis 4 Sekunden, während deren die ganze blühende Stadt zertrümmert wurde und 12000 Menschen ihren Tod fanden. Das berühmte Beben von *Lissabon* am 1. November 1755 dauerte 5 Minuten, in denen die Stöße sich wiederholten. Es sei hier aus der Schilderung eines deutschen Augenzeugen dieser Katastrophe einiges wiederholt (aus Neumayr, Erdgeschichte): „. . . . da hörte ich auf einmal ein entsetzliches Prasseln; ich lief hinaus zu sehen, was das wäre, und kam glücklich mit den übrigen in unsern Hof, allwo wir fast die ganze Stadt übersehen können. O, ewiger Gott, wie

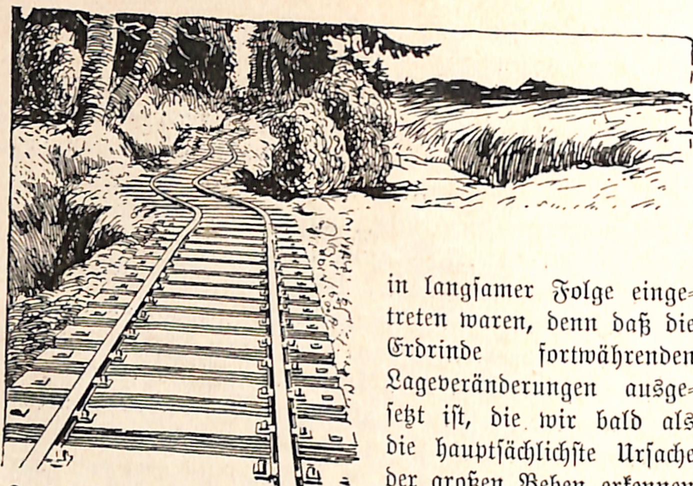
betrübt war das anzusehen. Die Erde ging ellenhoch auf und nieder. Die Häuser allerorten fielen mit einem entsetzlichen Prasseln alle übereinander. Die Karmeliter, so auf dem Berge über uns wohnten, Kirch und Kloster so sehr groß, ging hin und her, so daß wir besorgten, alle Augenblick davon bedeckt oder von der Erde lebendig verschlungen zu werden. Es war die Sonne so verfinstert, daß wir einander nicht sahen. Wir glaubten und waren gänzlich beredt, daß das jüngste Gericht herbeigekommen. Diese entsetzliche Bewegung dauerte was über eine achtel Stunde; alsdann war es wieder ein wenig stille; da wir unsere Flucht nahmen, ein jeder in seinen Nachtkleidern, nicht weit von uns auf den großen Platz, allwo wir über die zerfallenen Häuser und Menschen mit großer Lebensgefahr angelangt. Wir blieben allda etwan drei Stunden und waren über 4000 Menschen schon angesammelt, einige in bloßen Hemdern, andere ganz nackend; der Tod auf allen Gesichtern gemalt; mit unzähligen vielen Blessierten, welche alle um Gottes Barmherzigkeit anruften, und ware das Geschrei erbärmlich.... Die mehreste Schiffe, deren wir bei 300 im Hafen hatten, sind ankerlos worden, einige versunken, andere beschädiget. Ein Holländisches ist in die Stadt geschmissen worden, und stunde das Schiff auf trockenem Lande; jedoch hat solches der liebe Gott wunderlich erhalten, bis daß eine andere Fluthe kam, und das Schiff vom trocknen wieder wegnahme, und ohne Unglück in die See setzte. Es wiegt ein solches Schiff 18 bis 20000 Zentner.... Also ist die schöne große Stadt, so die reichste in Europa, und bei 500000 Menschen in sich hatte, zu einem Steinhaufen geworden."

Daß der feste Erdboden plötzlich zu wogen begann, einem empörten Meere gleich, wie es aus diesem Berichte hervorgeht, ist auch andererseits wahrgenommen, obgleich man früher vielfach an der Realität solcher Bodenbewegungen gezweifelt hat. Eine einwandfreie Beobachtung teilt Sieberg in seinem Handbuch der Erdbebenkunde mit, dem ich hier manche Beobachtungsdaten entnommen habe. „Während des großen japanischen Erdbebens vom Jahre 1891 wurden vom Ingenieur Kildoyle in Akasaka fußhohe Bodenwellen beobachtet, deren Kämme in Abständen von 3 bis 10 Metern die Straße

herabrollten." In einem andern Falle wird berichtet, daß eine solche Bodenbewegung Seekrankheit hervorrief.

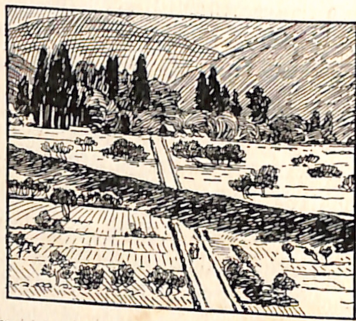
Wie stark im Epizentrum die senkrechten Stöße werden können, davon geben manche erstaunlichen Berichte einen Begriff. So sollen bei dem kalabrischen Erdbeben von 1783 ganze Häuser senkrecht in die Luft geschleudert und an höher gelegenen Orten wieder niedergesetzt worden sein. Menschen sind bei anderer Gelegenheit senkrecht meterhoch emporgeschnellt worden, und beim Beben von Riobamba 1797 sind die Leichname der Einwohner aus ihren Gräbern zum Teil auf den mehrere hundert Fuß hohen Hügel La Culla, welcher noch jenseits eines Flüßchens liegt, geschleudert worden."

Wieweit bei solchen Katastrophen der Erdboden selbst emporgestoßen wird, läßt sich indes aus diesen Wahrnehmungen nicht ableiten. So können z. B. leichte Gegenstände von einer Tischplatte hoch emporgeschleudert werden, wenn man von unten einen kräftigen Hammerschlag auf die Platte führt, die dadurch selbst nur um Bruchteile von Millimetern aus ihrer Ruhelage gebracht wird. Über die wirkliche Bewegung der ausgedehnteren Erdscholle, auf der wir das Beben verspüren, geben deshalb weder die direkten Beobachtungen noch die Instrumente Auskunft. Nehmen wir z. B. an, diese Scholle begänne sich zuerst nur langsam und dann immer schneller senkrecht abwärts zu bewegen, so würden wir davon ebensowenig wahrnehmen, wie von der Vorwärtsbewegung eines auf guten Schienen laufenden Wagens, in dem wir uns befinden und der uns keinen Ausblick, oder nur einen solchen in eine große Ferne gestattet. Nur wenn diese Bewegung plötzlich, etwa durch das Aufstoßen der auf irgendeine Weise im Niederstürzen befindlichen Scholle auf festen Grund, gehemmt wird, müßten jene Stoßwirkungen eines Erdbebens eintreten. Solche großen Niveauveränderungen ganzer Länderstrecken, wie sie bei einem etwaigen Abstürzen eintreten müßten, sind nun freilich bisher nicht einwandfrei nach einem Erdbeben konstatiert worden. Allerdings haben wiederholte Triangulationen, d. h. Präzisionsausmessungen des Terrains, in neuerer Zeit wesentliche Lageveränderungen nach Erdbeben ergeben, aber es ließ sich nicht nachweisen, ob diese plötzlich, während des Bebens, oder


Durch Erdbeben verschobene Eisenbahnschienen.

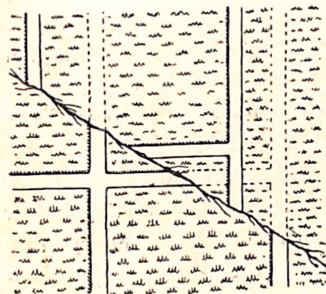
in langsamer Folge eingetreten waren, denn daß die Erdrinde fortwährenden Lageveränderungen ausgesetzt ist, die wir bald als die hauptsächlichste Ursache der großen Beben erkennen werden, beweisen ja schon unsere Gebirge, die allein nur durch solche Bodenbewegungen entstanden sein können. Nach dem großen Beben von Assam in Ostindien, am 12. Juni 1897, wurde eine horizontale Verschiebung von Triangulationspunkten bis zu 8 Metern, und eine Hebung bis zu 4 Metern sicher nachgewiesen. Das gleiche wurde nach dem Beben auf Sumatra vom 17. Mai 1892 beobachtet. Auch Veränderungen landschaftlicher Aussichten scheinen eingetreten zu sein, so daß man Berge rc. nach einem Beben sah, die vorher verdeckt waren, oder umgekehrt.

Daß die gewaltigsten Verschiebungen des Erdreiches bei großen Erdbeben stattfinden, zeigen ja nur zu augenscheinlich die weiten Spalten und Abstürze, die diese konvulsivischen Zuckungen in die Oberfläche unseres Planeten reißen. Charakteristisch sind dafür die hier beigesetzten drei Abbildungen. Die erste


Erdspalte bei Mino-Owari, bei dem japan. Erdbeben von 1891 entstanden.

stellt eine ursprünglich völlig geradlinige Eisenbahnstrecke vor, die beim vorerwähnten Beben von Assam in dieser erstaunlichen Weise wie eine weiche Masse zu Schlangenlinien verbogen wurde. Als man bei einer ähnlichen Gelegenheit die Strecke wiederherstellte, fand man sie um 80 cm kürzer als vorher und auf der einen Seite um 30 cm niedriger. Die zweite Abbildung zeigt eine Verwerfung, die am 28. Oktober 1891 bei dem großen japanischen Beben zu Mino-Owari in das Gelände gerissen wurde. Längs einer weiten Strecke ist das Land um etwa 6 Meter niedergesunken, während es auf der andern Seite der Spalte scheinbar unverändert stehen geblieben ist. Die Spalte ließ sich, in wechselnder Form, 40 englische Meilen weit verfolgen. An gewissen Stellen sah sie aus, wie es die obige Abbildung zeigt. Das Land war meilenweit wie mit einer riesigen Pflugschar durchzogen. Vielfach fand nur eine seitliche Verschiebung statt, die sich im Gelände kaum anders als durch die Veränderung der gegenseitigen Lage von Gegenständen verriet; wie denn ein Bauer sich dort sehr verwunderte, daß zwei Bäume seines Gartens, die vorher ost-westlich standen, sich nun plötzlich in der Richtung von Nord nach Süd befanden. Die nebenstehende Zeichnung stellt ein Reisfeld mit Wegen dar, durch die die seitliche Verschiebung wie angedeutet verlaufen ist. Sie betrug hier durchschnittlich einen Meter. Aber leider nicht überall ist das Naturereignis so harmlos verlaufen. Es hat an 200 000 Häuser zerstört und über 7000,

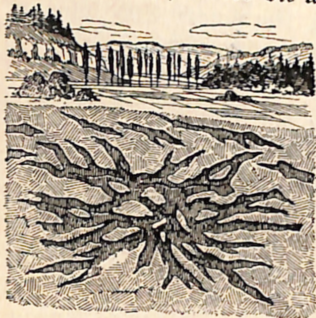

Zerreißen des Bodens durch Erdbeben.


Bodenverschiebung, verursacht durch das japanische Beben von 1891.

nach Sieberg sogar 25000 Menschenleben gefordert. Der Materialschaden wurde auf 7 Millionen Mark geschätzt. Dabei ist zu bedenken, daß man in Japan möglichst erdbebensichere Häuser zu bauen versteht.

Während man hier nur ein horizontales oder vertikales Rutschen der Schichten gegeneinander konstatierte, haben sich bei andern Beben weite klaffende Spalten gebildet, in denen, wie bei dem großen kalabrischen Beben vom 5. Februar 1783, ganze Reihen von Gebäuden für immer verschwanden. Andererseits berichtet man von diesem Beben, daß dabei „ein großer Oliven- und Obstgarten 200 Fuß weit weg in ein 60 Fuß tiefes Tal geführt wurde; ein kleines bewohntes Haus, welches auf der ins Tal gerutschten Masse stand, blieb auf derselben, ohne beschädigt zu werden und ohne Nachteil für die Bewohner, stehen, und die Olivenbäume fuhren fort zu wachsen, obgleich sie nun in einem Tale standen, und gaben dasselbe Jahr reiche Früchte."

Solches Rutschen abschüssigen Terrains ist indessen nur eine mittelbare Folge des Bebens. Es handelt sich dabei meist um lose auf festerem Felsgestein liegende Humusschichten, die durch die Erschütterung des Bodens sich losreißen und dann durch ihre eigene Schwere abrutschen. Auf solche Weise entstehen gelegentlich auch fürchterliche Bergstürze bei Erdbeben. Durch einen solchen sind am 25. Januar 1348 zwei Marktflecken und 17 Dörfer unter Felstrümmern begraben, die vom Dobratsch bei Villach losbrachen. Ebenfalls zum Teil durch einen Bergrutsch wurde die unweit Samarkand gelegene Stadt Karatag bei dem jüngsten Beben am 20. Oktober 1907 verschüttet; dabei sind 4000 Menschen getötet, 1200 Häuser zertrümmert worden.



Radiale Bodenspalten.

Die hierneben abgebildete Bodenspalte zeigt durch ihre radiale Ausbildung recht deutlich, wie ein senkrechter Stoß von unten herauf gewirkt haben muß, während trichterförmige

Einsenkungen (siehe nebenstehende Abbildung), wie man sie häufig beobachtet, eher von einem Nachgeben des Bodens zeugen.



Rundlöcher, entstanden nach dem kalabrischen Erdbeben von 1783.

Wenn in solche Spalten, Trichter rc. das Grundwasser dringt, das mit dem zermalmten Gestein einen Schlamm bildet, so entstehen kleine Schlammvulkane, die gelegentlich, wenn das Wasser aus größeren Tiefen kommt, auch heiße Auswurfsprodukte zutage fördern können, so daß die erschreckte Bevölkerung wohl an die Entstehung eines neuen Feuerberges glaubt, wie bei dem kalabrischen Beben vom September 1905. Bei andern Beben sind dagegen wieder Brunnen und Quellen versiegt, ohne daß es zu einer Spaltenbildung kam, die auf der Oberfläche sichtbar wurde. Es müssen sich dann also in der Tiefe die Schichten, die das Wasser zuführten, verschoben haben.

Am sichersten läßt sich unterscheiden, ob eine Hebung oder Senkung eines größeren Gebietes nach einem Beben stattgefunden hat, wenn es sich um ein Küstengebiet handelt. Die Annalen berichten von ganzen Städten, die bei solchen Beben ins Meer versunken sind, wie 373 v. Chr. die Städte Helike und Bura an der achäischen Küste. An dieser Stelle sank bei einem Beben vom 26. Dezember 1861 wiederum ein Gebiet von mehr als einer Million Quadratmetern unter das Meer.

Daß bei solcher Gelegenheit sich mächtige Flutwellen bilden können, haben wir schon bei der Beschreibung des Lissaboner Bebens gesehen. Diese oft haushoch kilometerweit in das Land brausenden Wogen sind noch viel verderbenbringender als das Beben selbst. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die bei vielen Völkern wiederkehrenden Sintflutsagen auf solche Erdbebenflutwellen zurückzuführen sind. Von einer solchen Flutwelle, die durch das peruanische Erdbeben vom 13. Au-

gust 1868 verursacht wurde, ließ sich nachweisen, daß sie den ganzen Stillen Ozean durchquerte und noch auf Neu-Seeland deutlich fühlbar war.

Von solchen Flutwellen, die durch Bewegungen des trockenen Landes erzeugt werden, haben wir die eigentlichen Seebeben zu unterscheiden, die man auf hoher See auf Schiffen beobachtet hat, und denen keine Erschütterungen von Küstengebieten gegenüberstehen. Wir müssen diese Seebeben wieder in zwei deutlich verschiedene Kategorien trennen. Die eine Art müßten wir eigentlich als vulkanische Seebeben an dieser Stelle noch außer Betracht lassen, da wir uns mit den vulkanischen Erscheinungen erst später beschäftigen wollen. Es unterliegt nämlich keinem Zweifel, daß der Meeresboden noch viel zahlreicher von tätigen Vulkanen besetzt ist, als der in das Luftmeer aufragende Teil der Erdoberfläche. Zu wiederholten Malen hat man solche Vulkane ihre Rauch- und Feuergarben durch das zuerst fontänenartig aufgespritzte Wasser aufwirbeln sehen, und gelegentlich sind dann die Feuerberge wirklich in wilder eruptiver Tätigkeit über das Meer emporgestiegen, neue, heiß dampfende Inseln bildend, die zum geringeren Teile nur bestehen blieben, meist dagegen wieder nach dem Erlöschen der vulkanischen Tätigkeit von den brandenden Wogen vertilgt wurden. Das bekannteste Beispiel dieser Art ist die Insel Ferdinandea, die unweit Pantellaria unter der Westecke von Sizilien, im Juli und August 1831, als heftig speiender Vulkan aus dem Wasser stieg, nachdem der vorher noch unterseeisch arbeitende Vulkan 60 bis 80 Fuß hohe Wassersäulen emporgeworfen hatte. Die Insel hatte in ihrer größten Entwicklung etwa 200 Fuß Höhe und 2000 Fuß Umfang; aber schon im Dezember desselben Jahres war sie wieder unter den Wogen versunken.

Wiederholt beobachtete man auf hoher See solche Wassersäulen, wobei sich das aufgeworfene Wasser mit Dampf und Feuer mischte, ein wilder Kampf der feindlichen Mächte des Feuers und des Wassers. Nach dem Ausbruch bedeckte sich dann oft das Meer mit Bimsstein und Asche. Dies beobachtete man auch an Stellen, wo große Meerestiefen gelotet wurden. Es ist nicht zweifelhaft, daß in andern Fällen die Wirkung des

submarinen Ausbruchs sich nur durch ein Aufwölben der Meeresoberfläche kundgab. Von dieser Aufwölbung muß dann das Wasser allseitig wieder hinabfließen. Das Schiff kann dadurch entweder eine Verzögerung oder Beschleunigung erfahren, je nach seiner Lage zu dem plötzlich entstandenen „Wasserberge“. Manchmal beginnt das Wasser auf weite Strecken in eine siedende Bewegung zu geraten, wie es beispielsweise am 17. Juli 1852 in äquatorialen Breiten des Atlantischen Ozeans beobachtet wurde. Beim Loten fand man indes bei 110 Faden noch keinen Grund, die Lotleine aber kam ganz heiß wieder herauf. Solche von vulkanischen Ausbrüchen verursachten Seebeben verbreiten ihre Wirkung auf ein relativ nicht sehr ausgedehntes Gebiet.

Anders verhält es sich dagegen mit jenen Seebeben, die offenbar durch Erschütterungen des Meeresbodens von der Art der vorhin betrachteten Erdbeben verursacht wurden, die man von keiner vulkanischen Tätigkeit begleitet sieht. Sie geben sich durch heftige Stöße zu erkennen, die den Eindruck machen, als sei das Schiff auf einen Felsen gelaufen. Man hört dabei oft das Schiff in allen Fugen krachen, während es doch seine Fahrt ungestört fortsetzt, und selbst das Meer zuweilen nicht die geringste Bewegung zeigt. An andern Stellen wieder schossen aus dem sonst ruhigen Wasser kleine Strahlen senkrecht auf, eine Erscheinung, die man leicht nachahmen kann, wenn man in ein Gefäß mit dünnem elastischem Boden Wasser füllt und dem sonst festgehaltenen Gefäßboden einen kurzen Stoß von unten her versetzt.

Die Dauer der Seebeben wird von wenigen Sekunden bis zu einer Minute angegeben, in allgemeiner Übereinstimmung mit den Erdbeben. In einem Falle vom 11. August 1889 wird von einem im südlichen Atlantischen Ozean beobachteten Beben bemerkt, daß es während drei Viertelstunden alle fünf Minuten das Schiff heftig erschütterte.

Um den Ursachen dieser gewaltigen Bewegungen unserer Erdfeste nachzuspüren, wird es von Wichtigkeit sein, zu erforschen, welche Besonderheiten die Verbreitung der „seismischen“, d. h. Erdbebenerscheinungen im Gegensatz zu den vulkanischen, über die Oberfläche unseres Planeten etwa auf-

weist. Während wir gesehen haben, daß zwar die Erde sowohl wie das Meer in den verschiedensten Gebieten beben kann, so ist es doch allbekannt, daß es Länder gibt, die häufiger, und andere, die sehr selten von Erdbeben betroffen werden. Ist hier eine Gesetzlichkeit zu entdecken? Wir betrachten hierbei nur die Verbreitung der Epizentren, von denen, wie wir später sehen werden, Wellen über die ganze Erde hinweggehen können, die dann also auch Gebiete erschüttern, die von Erdbebenstößen direkt nicht getroffen werden. Wir unterscheiden dabei die starken Beben, die „*makroseismischen*" Erscheinungen, von



Übersichtskarte der hauptsächlichsten Bebenherde und Vulkanreihen.

den schwachen, nur in den betreffenden Instrumenten zu erkennenden „*mikroseismischen*" Erzitterungen.

Die hier beigegebene *Übersichtskarte* von *Milne* gestattet sofort einen klaren Einblick in die betreffenden Verhältnisse. Die schwarz eingedruckten Gebiete sind die der großen Faltengebirge der Erde, von denen also tiefe Abstürze große Niveaudifferenzen der Erdrinde erzeugen. Auch in den Meeresgebieten sehen wir solche Faltengebirge, also unterseeische, eingezeichnet. Die schraffierten Flächen bedeuten tiefe Senkungsgebiete von mehr als 6000 Metern. Die umstrichelten Gebiete sind die hauptsächlichsten *Bebenherde der Erde*; die neben ihrer Bezeichnung A, B, C ꝛc. gesetzten Zahlen geben an,

wie oft von 1899 bis 1901 dort starke Beben beobachtet wurden. Wir ersehen ohne weiteres aus der Karte, daß alle Bebenherde auf ozeanischen Gebieten liegen, mit nur der einen Ausnahme des mit K bezeichneten sogenannten *Kaukasischen Herdes*, der sich auf der einen Seite bis an den südlichen Absturz des Himalaja, auf dem andern bis in die Alpen erstreckt. Aber alle Herde ohne Ausnahme befinden sich auf großen Senkungsgebieten der Erdkruste. Wir wollen einige davon im besonderen betrachten.

Da haben wir zunächst die drei großen Herde an der pazifischen Küste der beiden Amerika, A, B und D. Sie greifen teilweise auf das Küstengebiet der Anden hinüber. Hier stürzt die Erdscholle von den Gipfeln des Gebirges bis zum Meeresgrunde um 10000 bis 13000 Meter jäh hinab. Im sogenannten Kordillerengebiet B ist das Gebirge zwar noch nicht so besonders hoch; es erhebt sich meist nicht über 2000 Meter; dagegen fällt der Meeresgrund schon in einer Entfernung von kaum 100 Metern von der Küste bis zu 3600 Metern ab. Dieses Gebiet hat sich erst in jüngster Zeit durch das furchtbare Erdbeben von *San Franzisko*, am 18. April 1906, betätigt. Dieses Beben wird als eines der heftigsten bezeichnet, die je die Erdkruste betroffen haben. Der erste Stoß fand um 5 Uhr 13 Minuten früh statt; ihm folgte dann nach einigen Sekunden ein zweiter, nach einer Minute der dritte, der am stärksten war, gewiß die furchtbarste Minute, die je die Bevölkerung einer ganzen volkreichen Stadt — und dabei einer der schönsten der Erde — durchlebt hat. Wir wollen die grauenhaften Schilderungen, die aus Zeitungsmitteilungen wohl noch in jedermanns Erinnerung sind, hier nicht wiederholen. Nach jener verhängnisvollen Minute dauerten die fühlbaren Stöße (man hat deren bis zum folgenden Tage im ganzen 31 verzeichnet) noch fort, aber sie wurden immer schwächer. Die Hauptarbeit der zerstörenden und doch immer wieder bauenden Mächte des Erdinnern war in dieser einen Minute vollendet. Das Resultat war ein Riß in der Erdrinde, der sich 300 km weit sehr deutlich, bei genauerer Untersuchung auf 600 km verfolgen läßt. Längs dieser Verwerfung wurde das Erdreich um 2 bis 7 Meter horizontal in

etwa ostwestlicher Richtung verschoben, so daß alle Brücken, Rohre, zc. die über dieses Gebiet verliefen, auseinandergerissen, Bäume niedergeworfen wurden. Die Erde öffnete sich, um sich gleich darauf wieder zu schließen, alles verschlingend, was sich hier befand. Eine vertikale Bewegung, durch Hebung oder Absturz bewirkt, konnte nur an wenigen Stellen bis zum Betrage von einem Meter konstatiert werden. Es ist hier eine Reliefkarte des betreffenden Gebietes der kalifornischen Küste wiedergegeben, die in mancher Hinsicht interessant ist. Darauf ist das Hauptschüttergebiet des Bebens durch Striche abgegrenzt (gestrichelt). Die Verwerfungsspalte verläuft parallel diesem langgestreckten Rechteck. Dieses liegt seinerseits der Küste parallel in einer ebenso langgestreckten Talsenkung, die vom Meere durch einen Höhenzug getrennt wird, während erst östlich von diesem Tal die Andenkette hinzieht. Die Geologie bezeichnet solche langgestreckte Senkung als einen Grabenbruch. Das Küstengebirge wird von der Bai von San Franzisko durchbrochen, und hier gerade hatte das Erdbeben seine größte Stärke.



Reliefkarte von Kalifornien.

Aber es besaß offenbar kein punkt- und kreisförmiges Epizentrum, sondern ein lineares, das sich in der Richtung der gewaltigen Andenkette erstreckte.

Dem Bebenherde B, der sich weit in den Pazifischen Ozean erstreckt, gehört auch das jüngste große Seebeben vom 16. Oktober 1907 an, das zwischen Kalifornien und dem Hawaischen Archipel seinen Sitz hatte und von kaum geringerer Stärke wie das Erdbeben von San Franzisko gewesen sein kann, da es sich unter anderm noch sehr deutlich durch die Instrumente der Bebenwarte in Breslau verzeichnete.

Ganz ähnliche Verhältnisse wie in Kalifornien lagen bei dem fast genau vier Monate später stattgehabten, gleichfalls außerordentlich heftigen Beben von Mittelchile am 16. August 1906 vor, das Valparaiso und Santiago fast völlig zerstörte. Es begann um 7 Uhr 58 Minuten 44 Sekunden Ortszeit von Santiago sofort mit furchtbaren wellenförmigen Bewegungen des Bodens, die mit gleicher Stärke 2 Minuten 20 Sekunden lang anhielten und erst nach 4 Minuten 50 Sekunden aufhörten. Es fand dann noch eine ganze Reihe von Nachbebenstößen statt, von denen man im ersten Monat nach dem Hauptbeben 83 zählte, während die Erde auch später noch immer nachzitterte. Merkwürdig ist, wie bei diesem Beben „Meer und Land ihre Rollen vertauscht hatten; denn ersteres blieb nach übereinstimmender Aussage aller Augenzeugen vollkommen ruhig, während die Landmasse wellenförmig auf und nieder wogte". Hiermit ist in Übereinstimmung, daß auf der gegen 700 km westlich von Valparaiso liegenden Insel Juan Fernandez auch nicht die leiseste Spur eines Erdbebens bemerkt wurde. In dieser Richtung senkrecht zum Zuge des Hauptgebirges war auch hier wie bei dem kalifornischen Beben das Schüttergebiet nicht sehr ausgedehnt, obgleich es sich nach Osten hin, über die Kordilleren hinweg, weiter fühlbar machte. Die Zone der größten Verwüstungen lag aber wieder in einem mit dem Gebirge parallel laufenden Längstale, das durch die „Küstenkordilleren" vom Meere getrennt ist. Hier sind teilweise sehr bedeutende Umgestaltungen des Bodens und des angrenzenden Gebirges eingetreten; meterweit klaffende Risse, Spalten, Senkungen, Abrutschungen, Bergstürze, die den Ein-

druck von Verwüstungen durch gewaltige Minenexplosionen machten. Es sind auch kraterförmige Vertiefungen in lockerem Boden entstanden, aus denen das Wasser springbrunnenartig hervorschoß. Aber eine eigentliche, fortlaufende Verwerfungsspalte wie in Kalifornien konnte nicht wahrgenommen werden. Auch sind Hebungen oder Senkungen von Küstengebieten bis auf einen Fall nicht festzustellen. Dieser Fall betrifft eine Hebung der Küste bei einem kleinen Badeorte, die 80 cm erreicht.

Geologische Betrachtungen lassen nun keinen Zweifel darüber, daß das ganze Küstengebiet des Pazifischen Ozeans an der amerikanischen Seite einer gewaltigen Zerreißung der Erdscholle, beinahe vom Nordpol bis zum Südpol ihre Entstehung verdankt, wobei die westliche Seite der Scholle in die Tiefe des Meeres versank. Dieser Prozeß einer durchgreifenden Veränderung der Erdoberfläche wird auch heute noch in Tätigkeit sein. Gewaltige Spannungen in der Erdkruste, deren Ursachen wir noch kennen lernen werden, lösen sich durch die Erdbeben aus, die die Schollen in eine neue Lage bringen. Dabei ist es nicht immer nötig, daß die betreffenden Gebiete dem durch die geologischen Perioden vorherrschenden Zuge der Scholle folgen, daß sie also im Pazifischen Gebiete in niedersteigender Bewegung sein mußten. Auch die großen Bewegungen der Erdrinde gehen in Wellenform vor sich, so daß zeitweise selbst eine aufsteigende Tendenz dort wahrgenommen werden kann, wo sonst die absteigende vorherrscht. Dies scheint augenblicklich in jenen so schrecklich heimgesuchten Gebieten der Fall zu sein. Die wahrgenommenen Verschiebungen sind meist horizontal gewesen, und wo eine Niveauveränderung konstatiert wurde, war das Land im Aufsteigen.

Die die Kordilleren dicht besetzende Vulkanreihe erfährt gerade auf der Küstenstrecke nördlich und südlich von Valparaiso eine Unterbrechung. Hier befinden sich nur erloschene Vulkane. Keiner dieser oder der übrigen benachbarten Feuerberge hat sich bei oder nach der Katastrophe geregt. Nur an dem Vulkan von Chillan, dem ersten am südlichen Ende der Zerstörungszone, ist am Tage des Bebens eine neue Auswurfsstelle entstanden. Ebenso, wie neue Quellen bei Erdbeben auf-

brechen, können natürlich auch die Lavagänge in Vulkanen eine entsprechende Veränderung erfahren, ohne daß hierfür irgendeine Reaktion aus dem Erdinnern vorauszusetzen ist. Ebensowenig haben die Vulkane der nordamerikanischen Anden auf das kalifornische Beben reagiert.

Ein Bild der Verwüstungen, die das Beben in Valparaiso selbst angerichtet hat, mag in dem hier dargestellten zerstörten Theater gegeben werden.

Dem kalifornischen Herde gegenüber auf der atlantischen Seite liegt der Antillenherd unter dem Karaibischen



Das beim Erdbeben vom 16. Aug. 1906 zerstörte Theater in Valparaiso.

Meerbusen. Dieser ist gleichfalls ein großes Senkungsgebiet, auf dem die Kleinen Antillen sich als mächtige Vulkanberge aufbauen. Beide Herde greifen bei der Landenge von Zentralamerika übereinander. Deshalb ist diese so häufig von Beben heimgesucht, daß man sie auch die „Hängematte“ von Amerika genannt hat. Das Karaibische Meer ist ein „Kesselbruch“, der bei seinem Niedersinken die vorher hier wahrscheinlich miteinander im Zusammenhange gewesenen beiden Amerika bis auf die zerbrochenen Inselbrücken der Großen und Kleinen Antillen getrennt hat. In einer vorangegangenen

geologischen Periode freilich befand sich hier selbst über die zentralamerikanische Landenge hinweg ein Meer, das sogenannte Jura-Mittelmeer. Seitdem hatte sich also das Land gehoben und ist jetzt vermutlich wieder im Niedersinken, jedenfalls auf der amerikanischen Seite, während die Antillen selbst sich aufwärts zu bewegen scheinen. Man versteht, daß durch solche Kippbewegung leicht ein Bruch stattfinden kann, dem Spannungen vorausgehen, die durch Erdbeben ausgeglichen werden. Dicht neben den kleinen Antillen liegt die größte Tiefe, bis zu der der Atlantische Ozean hinabreicht, 8340 Meter. Auf den Antillen bebt die Erde im Jahre durchschnittlich 27 mal, freilich häufig infolge vulkanischer Ausbrüche, wie bei der furchtbaren Katastrophe von Martinique im Jahre 1902, von der ich noch später zu berichten habe. Eine große Menge von Seebeben, die sich in der Umgebung der Antillen ereignen, beweisen, daß der Meeresboden hier von Vulkanen besetzt sein muß. Das Erdbeben, das am 14. Januar 1907 Kingston, die Hauptstadt von Jamaika, traf, ist die jüngste Betätigung dieses Bebenherdes. Jamaika ist die südlichste der Großen Antillen, die nicht, wie durchgehends die Kleinen Antillen, vulkanisch sind.

Der japanische Bebenherd (E) ist mit dem ihm benachbarten javanischen (F) der tätigste von allen. Die Umgebung von Tokio allein erbebt im Jahre durchschnittlich 92 mal, also etwa jeden vierten Tag. Es ist begreiflich, daß die klugen Japaner sich auf das eifrigste mit diesen Erscheinungen beschäftigt haben, so daß sie einerseits aus den gesammelten Erfahrungen eine möglichst praktische Bauweise herausgefunden haben, die sie, soweit es überhaupt möglich ist, vor allzu großem Schaden durch diese fast beständige Unruhe des Bodens schützt, während andererseits die bedeutendsten Gelehrten auf dem Gebiete der Erdbebenkunde in diesem Lande herangebildet wurden. Unter ihnen ist in erster Linie Omori zu nennen, dessen Forschungen uns noch wiederholt beschäftigen werden.

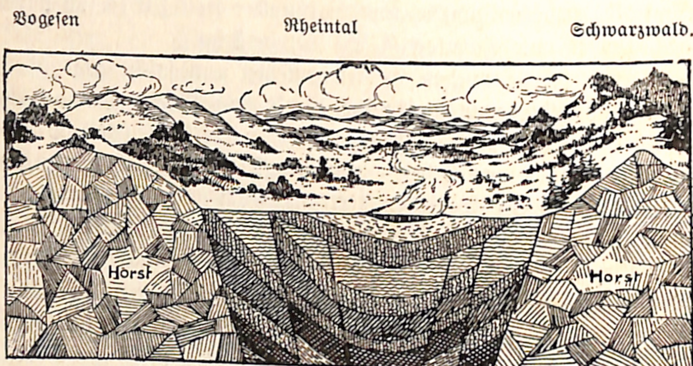
Auch den japanischen Inseln ist auf der pazifischen Seite eine große Meerestiefe vorgelagert. Überall stürzt das gewaltige Becken des Stillen Ozeans jäh in die Tiefe hinab.

Indem wir die andern Bebenherde hier überspringen, wenden wir uns schließlich dem großen kaukasischen Gebiete zu, das zwar völlig auf dem Lande liegt, aber, die höchsten Gipfel der Erde tragend, gewaltige Abstürze gegen die umgebenden Ebenen zeigt, und deshalb dieselben Bedingungen für die Entstehung von Bodenbewegungen zum Ausgleich dieser gewaltigen Druckdifferenzen aufweist, wie die andern Bebengebiete. Innerhalb dieses Gebietes liegt auch Konstantinopel, das seit seinem Bestehen (333 gegründet) 11 verheerende Beben erfahren hat. Das letzte ereignete sich am 10. Juli 1894. Aus diesem selben Herde entsprang auch das große Beben von Assam im Jahre 1897, das schon auf Seite 30 erwähnt wurde, und in jüngster Zeit hat es sich durch das Beben von Karatag (s. S. 32) betätigt.

Diesen bebenreichen Gebieten stehen nun solche gegenüber, die sehr selten oder gar nicht direkt von Beben heimgesucht werden. Zu diesen gehört unsere norddeutsche Tiefebene. Bohrungen haben ergeben, daß hier die Ablagerungen aller geologischen Perioden fast ungestört übereinanderliegen, unser Heimatland also bis vor kurzem, mit dem Zeitmaß der Erdentwicklungsgeschichte gemessen, ruhig unter allen Meeren der Vorzeit gelegen hat. Es war hier niemals ein Anlaß für heftige Ausgleichsbewegungen der Erdrinde. Es hat sich überhaupt herausgestellt, daß die Häufigkeit und Stärke der Beben in direktem Verhältnis zu dem Alter der Gebirge stehen, an deren Rändern sie stattfanden. So berichtete Frech in seinem auf der Naturforscherversammlung zu Dresden 1907 gehaltenen Vortrage, daß von den 69315 Erdstößen, die bis zum Ende des vorigen Jahrhunderts in unserer Kenntnis Europa betrafen, „86,4 Prozent dem Bereich der jüngeren, in der Tertiärzeit dislozierten Gebieten angehörten, 6 Prozent erfolgten in den spätpaläozoischen, aber nur 0,4 Prozent erfolgten in den frühpaläozoischen und älteren Gebirgen.“ Eine sehr charakteristische nur scheinbare Ausnahme macht hier das Rheintal, das sich als ein echter, noch relativ junger Grabenbruch herausstellt, wo also nach den Ergebnissen der geologischen Untersuchung der Gesteinschichten sich eine Spalte in der Erdrinde befindet, in die vorher überlagernde Schichten hinabgesunken sind, wie es das

nachstehende Profil schematisch angibt. In diesem Bebengebiete des Rheins wurde zuletzt die Pfalz am 25. Januar 1903 erschüttert, am 22. Januar 1896 Gegenden des Schwarzwaldes. Weiter unten ist die Gegend um Aachen besonders erdbebenreich. Herzogenrath, auf der Strecke von Aachen nach Herbestal, wurde wiederholt getroffen, zuletzt am 22. Oktober 1877. Von Ende 1755 bis Ende Mai 1757 fanden hier fast täglich Erdstöße statt, die gelegentlich auch Gebäude beschädigten und Menschen töteten, so daß man lange Zeit im Freien kampierte. Bei Stollberg öffnete sich damals eine Erdspalte.

Solche „Erdbebenschwärme“ hat man auch an an-



Schnitt durch die oberrheinische Grabenversenkung. Nach E. Fraas.

deren Orten beobachtet, so erst wieder vor einigen Jahren im Vogtlande, das sich zu den tätigsten Bebengebieten Europas entwickelt hat, wenngleich die Erschütterungen selbst nur gering sind. So wurden in Graslitz am Südabhange des böhmischen Erzgebirges, wo es mit dem Elstergebirge zusammenstößt, vom 24. Oktober bis 25. November 1897 nicht weniger als 197 Stöße empfunden, das macht also täglich 6 bis 7. Weiter haben sich 1900 und 1903 abermals solche Schwarmbeben dort eingestellt. Sie sind von unterirdischen Geräuschen begleitet, die auch gelegentlich ohne Beben auftraten. Richteten sie zwar niemals erheblichen Schaden an, so versetzten sie doch die Bevölkerung in begreifliche Aufregung. Merkwürdig ist,

wie ein auf derselben Querspalte im Erzgebirge liegender Ort Brambach, der etwa 20 km von Graslitz südwestlich liegt, sehr häufig mit diesem Orte gleichzeitig Erdbeben spürte, während die zwischenliegenden Orte davon verschont blieben. Man nennt solche gemeinsamen Beben „Relaisbeben“ und das zwischenliegende, ruhigbleibende Gebiet eine Erdbebenbrücke. Oft sind solche Brücken durch Gebirgsrücken gebildet, oft auch durch ein anders geartetes, die Erschütterung schlechter fortpflanzendes Erdreich.

Mit der wieder ausgefüllten Querspalte, auf der jene beiden Orte liegen, läuft auch diejenige parallel, auf der Karlsbad mit seinem heißen Sprudel liegt.

Zu den furchtbarsten Schwarmbeben gehörte das der griechischen Provinz Phokis, wo „drei Jahre hindurch, von 1870 bis 1873, fast fortwährendes Beben, von unterirdischem Donner und Felsstürzen begleitet, stattfand. Es gab Tage, wo überschläglich 29000 Einzelstöße erfolgt sind, d. h. alle 3 Sekunden einer. Dabei wechselten sehr heftige, verwüstende Stöße ganz unregelmäßig mit unbedeutenderen ab. Die unglückliche, ohnedies arme Bevölkerung jenes Gebietes wurde dadurch in so nervenerschütternden, anhaltenden Schrecken versetzt, daß Wahnsinn und Fallsucht epidemisch wurden. Dann hörte, so wie sie gekommen war, die Erscheinung auf.“ (Aus dem Kosmosbändchen „Weltuntergang“ vom Verfasser.)

Ähnlich wie Deutschland, ist auch ganz Afrika bebenarm, wieder mit der Ausnahme des sog. ostafrikanischen Grabens, in dem die langgestreckten Seen von Tanganjika, Nyassa 2c. eingebettet liegen. Auch das Rote Meer ist eine solche Grabenversenkung, weshalb in dem benachbarten Ägypten die Beben wieder häufiger sind wie in dem übrigen bekannten Afrika.

Das Erschütterungsgebiet der Beben steht in keinem Verhältnis mit seiner Stärke. Es können sowohl sehr starke Beben sich auf ein sehr kleines Gebiet beschränken, wie auch relativ geringe Bodenbewegungen sich über kontinentale Schollen verbreiten. Als Beispiel der ersteren ist das Beben von Ischia anzuführen, das am 28. Juli 1883 auf jener schönen Insel vor dem Golfe von Neapel den blühenden Badeort Casami-

cciola zerstörte. Damals sind dort 2278 Häuser gänzlich zerstört, 3616 beschädigt und 2313 Menschenleben vernichtet worden. Trotz dieser heftigen Wirkung zeigten die feinfühligen Erdbebenmesser des in der Luftlinie nur 40 km entfernten Observatoriums am Vesuv nicht die leiseste Erschütterung an. Das Beben stand jedenfalls in keinerlei Beziehung zu dem Vulkanismus jener Gegend, auch nicht zu dem kaum erloschenen Vulkan Epomeo, aus dem sich die Insel Ischia selbst aufbaut. Hier muß offenbar ein nicht sehr tief unter dem Erdboden gelegener Herd von sehr beschränktem Umfange gewirkt haben, der sich indes vorher schon wiederholt betätigt hatte.

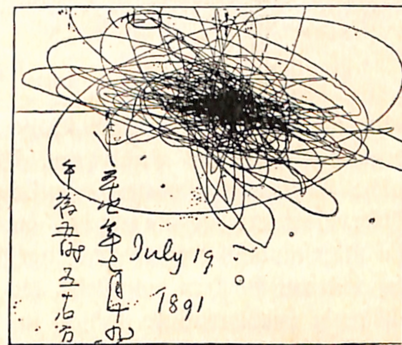
Dagegen ist die Ischia so naheliegende Insel Capri seit historischen Zeiten niemals von bedenklichen Erdbeben befallen worden, während doch unweit von ihr im Süden das unglückliche Kalabrien liegt, das uns schon beschäftigt hat. Nachdem dort erst im September 1905 viele Ortschaften zertrümmert wurden, meldet der Telegraph, gerade wie ich dies niederschreibe, abermals ein heftiges Erdbeben, das am 23. Oktober 1907 in der Nacht hereinbrach und deshalb, wie es scheint, mehr Menschenleben forderte, als das vor zwei Jahren eingetretene, dessen erste Stöße in den Nachmittagsstunden stattfanden, als der größere Teil der Bevölkerung außer dem Hause beschäftigt war. Das Tyrrhenische Meer, dessen einen Küstensaum Kalabrien bildet, ist durch einen Kesselbruch entstanden, der sich noch immer weiter fortsetzt. Die Küsten sinken ins Meer. Merkwürdig ist es, daß zwar die Beben der italienischen Halbinsel dem Höhenzuge des Apennin folgen, aber, abgesehen von jener kalabrischen Küste, gerade auf der Ostseite am heftigsten sind, während doch gerade die Westseite vulkanisch ist.

Im Gegensatz zu jenem beschränkten Schüttergebiete auf Ischia haben andere Beben ihre verheerenden Wirkungen auf ungeheure Gebiete verbreitet. So das Charlestoner Beben vom 31. August 1886, das 2,3 Millionen qkm des nordamerikanischen Festlandes in Bewegung setzte. Bedenkt man, daß der eigentliche Angriffspunkt des Stoßes in diesem Falle, wie Rechnungen ergaben, deren Grundlage wir gleich noch kennen lernen werden, mehr als 100 km unter der Oberfläche

lag, daß also eine Scholle von dieser Dicke und jener Ausdehnung von den unterirdischen Mächten erschüttert wurde, so ergibt sich, daß dazu mehr als eine Billion (Mendenhall berechnete 1 300 000 000 000) Pferdekräfte erforderlich waren.

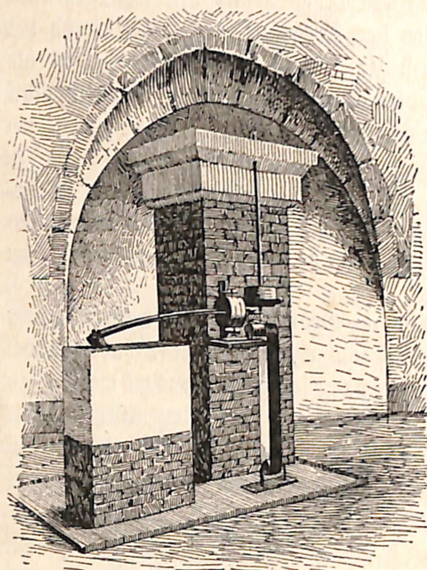
Diese Angaben über den Umfang der Erschütterungszonen beziehen sich auf die makroseismisch fühlbaren Beben. Auf instrumentellem Wege jedoch kann man mikroseismisch die Fortpflanzung der Erdbebenwellen, die vom Epizentrum ausgehen, häufig um die ganze Erde herum verfolgen. Die Erscheinungen dieser Fernbeben haben uns viel tiefergehenden Aufschluß über das Wesen der Erdbeben und den Zustand des Erdinnern, den wir durch sie erforschen wollen, gegeben, als die Vorgänge in den Gebieten der Haupterschütterung, wo die zerstörten Instrumente versagen, und die Menschen selten die nötige Kaltblütigkeit des objektiven Naturbeobachters zu bewahren imstande sind. Ehe wir uns aber mit diesen Wahrnehmungen der Fernbeben selbst befassen, wollen wir einen kurzen Blick auf die Instrumente werfen, mit denen man sie nachzuweisen vermag.

Es kommt darauf an, die Größe und die Richtung einer Erderschütterung automatisch aufzuzeichnen. Wir haben dabei die horizontale von der vertikalen Komponente zu trennen. Die erstere ist offenbar am leichtesten instrumentell festzuhalten. Man kann dazu das Trägheitsprinzip verwenden. Hängt man zum Beispiel ein schweres Gewicht an einem langen Faden auf, so wird dieses Gewicht die etwaigen Bewegungen seines Aufhängungspunktes nicht gleich mitmachen, es wird also bei der Erdbewegung in Ruhe bleiben. Befestigt man nun an dem Gewicht eine feine Spitze, die gerade eben ein berußtes Papier streift, das mit dem Boden in fester Verbindung ist, so wird sich



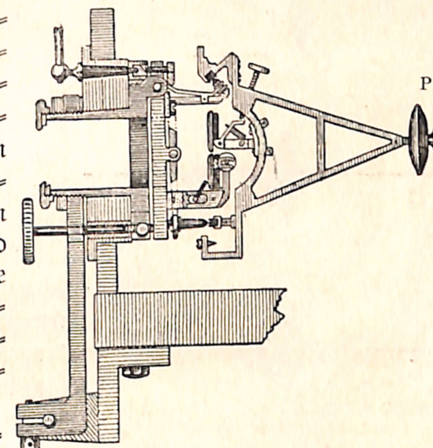
Erdbebenregistrierung auf feststehender Platte (durch Milnes Doppelpendel-Seismometer).

dieser unter dem Stifte bei einem Erdbeben hin und her bewegen, soweit eine horizontale Bewegung überhaupt stattfindet, und diese muß sich dann auf dem berußten Papier aufzeichnen. Eine wie komplizierte Bewegung der Erdkruste hierbei zutage tritt, mag die auf Seite 47 abgebildete Kurve zeigen, die ein derartiger Apparat am 19. Juli 1891 in Tokio bei einem relativ unbedeutenden Beben hervorbrachte. In solchem Gewirr würde man sich schwer zurechtfinden. Deshalb läßt man den Papierstreifen über einer Trommel durch ein Uhrwerk unter dem Pendel vorbeilaufen. Dann wird die Kurve auseinandergezogen, wie es Seite 50 abgebildet ist. Daneben können dann noch Aufzeichnungen einer Uhr gleichzeitig mit registriert werden, mit der man nun die Zeiten der verschiedenen Bebenperioden vergleichen kann. Befestigt man ein ähnliches Gewicht an einer starken Stahlfeder, an deren Spannung es in horizontaler Richtung schwebend erhalten wird, so kann man in entsprechender Weise auch die horizontale Bewegung des Bodens registrieren. Unsere Abbildung gibt eine solche Vorrichtung wieder, wie sie sich z. B. im Keller des Observatoriums zu Catania, am Fuße des Ätna befindet. Selbstverständlich werden derartige Apparate immer möglichst tief und auf Pfeilern aufgestellt, die vom übrigen Gebäude unabhängig fundiert sind.


Der Vicentinische Mikroseismograph.

In neuerer Zeit ist das Horizontalpendel von v. Rebeur-Paschwitz mit großem Erfolge in den Dienst der

Seismometrie gestellt. Wir bilden ein solches Pendel hier ab. Seine Wirkungsweise ist zu vergleichen mit einer äußerst leicht in ihren Angeln beweglichen Tür, die vorn, etwa in der Gegend der Klinke, mit einem schweren Gewichte versehen ist. Bewegt sich nun die Wand, an der die Tür befestigt ist, in horizontaler Richtung, so geht die schwere Klinke nicht mit und zeigt dadurch die Bewegung selbst an. Man hat nun zur genaueren und völlig reibungslosen Aufzeichnung ein photographisches Verfahren angewendet. An dem Pendelgewicht P wird ein Spiegel befestigt, auf den ein scharfer Lichtstrahl geleitet wird. Dieser fällt von dort auf lichtempfindliches Papier, das, vorübergezogen, die Erdbebenkurve selbsttätig aufzeichnet. Stellt man nun drei solcher Horizontalpendel in gegenseitigen Winkeln von 120 Grad auf, so registrieren sie alle Richtungen von Verschiebungen der Erdoberfläche, soweit sie horizontal verlaufen.



Horizontalpendel.

Die kurzen Andeutungen über die Seismometer müssen hier genügen, um den Eindruck zu geben, daß man durch sie auch die feinsten Erzitterungen unserer Erde zu jeder Zeit registrieren kann. Sie haben uns zunächst verraten, daß die Erde überhaupt in keinem Augenblicke völlig ruhig ist. Nach den sehr sorgfältigen statistischen Untersuchungen von Montessus de Ballore, der 131 292 bis 1900 stattgefundene Beben berücksichtigte, wird die Erde jedes Jahr durchschnittlich von 3830 Stößen erschüttert, so daß jede $2\frac{1}{4}$ Stunden einer erfolgt. Fernbeben, die mit unsern Instrumenten über die ganze Erde zu verspüren sind, erfolgen jährlich 100 bis 150. Leise aber erbebt die Erde fast beständig.

Es zeigt sich, daß von dem Gebiete der Hauptstoßwirkung, dem Epizentrum, oder eigentlich von dem unter ihm in sehr verschiedener Tiefe liegenden Hypozentrum aus, die Erdschichten wellenförmig bewegt werden. Die Wellen pflanzen sich fort wie die Schallwellen in der Luft, aber mit viel größerer Geschwindigkeit. Sie gehen oft bei sehr starken Beben um die ganze Erde herum, ja nach den Aufzeichnungen des Seismometers in Birmingham hätten die Erdwellen des Bebens von San Franzisko zweimal den Erdball umkreist, wozu sie nur die Zeit von 3 Stunden 13 Minuten und 19 Sekunden gebrauchten, also in der Sekunde 3360 Meter zurücklegten, das ist zehnmal schneller als der Schall. Nach den Registrierungen auf der kaiserlichen Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg legten die Wellen den 9500 km langen Weg von Kalifornien bis dorthin in 32 Minuten zurück. In Leipzig notierte das Pendel Bodenschwankungen bis zu 1,4 cm, als Fernwirkung des gewaltigen Bebens, die wohl imstande gewesen wären, selbst noch aus dieser Entfernung Schaden anzurichten, wenn nicht solche Wellen sehr viel langsamer auf und nieder wogten und wesentlich flacher wären als im Epizentrum. Sie gebrauchten zu einer Schwingung in der Hauptperiode 44 Sekunden.

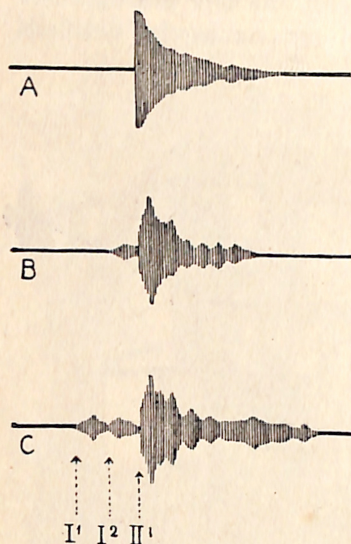
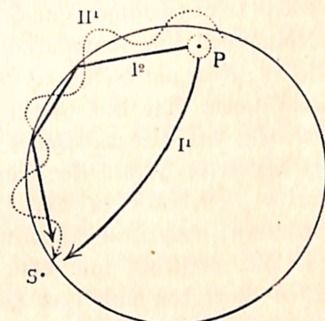


Diagramm von A Ortsbeben, B Nahbeben, C Fernbeben. Nach A. Sieberg.

Vorstehend sind nach Sieberg drei Bebenkurven abgebildet, wie sie die oben beschriebenen Instrumente verzeichnen, die erste bei einem Beben, das am Orte des Instrumentes sich befindet, also im Epizentrum, das zweite auf einer nicht sehr weit davon befindlichen Station, und endlich, wie sich die Kurve bei

einem in großer Ferne stattfindenden Beben gestaltet. Sie sind charakteristisch voneinander verschieden. Die Kurve des Ortsbebens beginnt mit dem größten Ausschlage, worauf die Schwingungen ganz allmählich abklingen. Bei dem Nahbeben erscheint vor den Hauptschwingungen eine Reihe kleinerer, das Vorbeben, bei dem Fernbeben treten zwei Perioden von Vorbeben auf. Da diese Vorbeben niemals im Epizentrum verzeichnet werden, können sie keine vom Hauptstoß an sich getrennten Erscheinungen darstellen, sondern müssen ihre Erklärung in ihm selbst finden. Dies hat zu sehr wichtigen Schlußfolgerungen über das Erdinnere geführt. Man kann sich die Entstehung dieser Vorbebenkurven nur durch die Annahme erklären, daß vom Stoßpunkte verschiedene Wellenzüge ausgehen, die verschieden lange Wege zu durchlaufen haben. Der geradeste Weg von einem Punkte der Erdkugel zu einem andern ist der durch das Erdinnere, der weiteste um die Erdoberfläche herum. Dazwischen kann man sich noch eine Fortpflanzungsart von Wellen denken, die nicht geradeswegs vom Bebenherde, sondern in einer andern Richtung durch das Erdinnere gehen und dann an der Erdoberfläche verschiedene Male zurückgeworfen werden, ehe sie die Station erreichen, wo das Fernbeben beobachtet wird. Die schematische Zeichnung erläutert dies. P ist der Bebenherd. Der Weg, I¹, hier absichtlich etwas gebogen gezeichnet, ist der kürzeste bis zur Station S. Da er aber durch die Massen des Erdinnern geht, wird die Größe der Wellen am meisten abgeschwächt. Auf diesem Wege muß das erste Vorbeben sich verzeichnen. I² ist der an der Erdoberfläche gebrochene Weg von P nach S, wodurch das zweite Vorbeben sich abbildet. Endlich gelangen auf dem noch längeren Wege II¹ die am kräftigsten bleibenden Wellen als Hauptstörung zur Station.



Schematische Darstellung der Wege der Erdbebenwellen.

Bei dem kalifornischen Beben von 1906 begann das erste Vorbeben in Wien um 2 Uhr 25 Minuten 42 Sekunden nachmittags nach mitteleuropäischer Zeit. Das zweite Vorbeben trat 20 Minuten später ein, das Hauptbeben endlich noch weitere 10 Minuten später und erreichte seine Hauptstärke 5 bis 6 Minuten darauf, um 3 Uhr 0 Minuten 40 Sekunden. Der Unterschied zwischen mitteleuropäischer Zeit und der Pacific Standard Time, nach der die Uhren in San Franzisko gehen, beträgt 9 Stunden. Die ersten, durch das Erdinnere gehenden Stöße kamen also in Wien an, als es in San Franzisko 5 Uhr 26 Minuten war. Das Beben selbst fand aber dort um 5 Uhr 13 Minuten statt. Die Erschütterung pflanzte sich also durch den Erdball in 13 Minuten bis Wien fort. Auf der Station zu Victoria dagegen auf Vancouver, das nur etwa 1200 km nördlich von jener unglücklichen Stadt liegt, kamen die ersten Wellen schon um 5 Uhr 16 Minuten an, nur 3 Minuten nach dem Beben. Die drei Arten von Schwingungen selbst haben eine sehr verschiedene Dauer. Beim ersten Vorbeben schwang der Boden in Intervallen von 6,4 Sekunden auf und ab, beim zweiten Vorbeben in 11,4 und beim Hauptbeben in 44,1 Sekunden nach dem Birminghamer Seismometer.

Wir verstehen nun ohne weiteres, daß die zwischen dem ersten Vorbeben und dem Hauptbeben liegende Zeit uns ein Mittel gibt, die Entfernung des Bebenherdes von der betreffenden Station zu bestimmen. Unsere Zeichnung auf Seite 50 zeigt uns ja, wie die Vorbebenkurven aus der des Hauptbebens sozusagen herauswachsen je nach der Entfernung der Station. Die vergleichenden Studien an stattgehabten Beben mit den von ihnen aufgezeichneten Kurven haben zu einer ziemlich großen Sicherheit in der Berechnung solcher Entfernungen geführt, wie die gelegentlichen Zeitungsnachrichten auch dem Laien gezeigt haben mögen. Man hat wiederholt starke Beben in bestimmter Entfernung nach den seismometrischen Angaben verkündet, ehe der Telegraph die bestätigende Kunde geben konnte. Die betreffende Rechnung ist sehr einfach. Die Zwischenzeit vom ersten und zweiten Vorbeben in Minuten ausgedrückt und um 1 vermindert, gibt die Entfernung in Tausendern von Kilometern, auf der Erdoberfläche gemessen.

So verzeichnete sich das erste Vorbeben in Wien um 2 Uhr $25^1/_2$ Minuten, das zweite 10 Minuten später. Wir erhalten daraus die Entfernung gleich 1000 (10—1) km, also 9000 km, was ganz gut stimmt. Die Hauptphase selbst zu benützen, ist weniger sicher, weil sie sich meist auf den Instrumenten nicht so klar ausdrückt wie die beiden Vorphasen der Erschütterung. Über die Erdoberfläche herum begegnet die Wellenbewegung mancherlei Störungen, die sich in merklichen Differenzen der Zeitangaben der verschiedenen Stationen kundgeben, während die Wellen im Erdinnern offenbar einfacheren Verhältnissen begegnen müssen, da für diese eine größere Übereinstimmung der instrumentellen Angaben beobachtet wird.

Das nähere Studium der Ankunftszeiten der aus dem Innern der Erde kommenden Wellenbewegung hat nun ergeben, daß die wellenförmige Fortpflanzung des in der Tiefe erfolgenden Stoßes nicht geradlinig stattfinden kann, wie es in einem gleichartigen Medium der Fall sein müßte, sondern auf krummen, gegen das Erdinnere hin konvexen Bahnen. Dies erfolgt aus der Wahrnehmung, daß die Zeitunterschiede der aus dem Innern auf der Oberfläche ankommenden Wellen nicht gleichmäßig fortschreiten. Vergleicht man die Ankunftszeiten des ersten Vorbebens mit den Entfernungen vom Epizentrum, so nimmt diese „scheinbare Fortpflanzungsgeschwindigkeit“ (die nicht zu verwechseln ist mit der wirklichen, die die Hauptstörungen der Seismometer anzeigen) auf der Erdoberfläche zuerst ab, dann wieder bis zur Unendlichkeit zu, während die Intensität des Stoßes gleichzeitig bis zur Unmerklichkeit abnimmt. Diese Form der Fortpflanzung durch das Erdinnere ist auch eine physikalische Notwendigkeit, da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit jeder Art von Wellen mit der Dichtigkeit des Mediums zunimmt. Während z. B. in der Luft sich der Schall in der Sekunde 333 Meter fortpflanzt, legt er im Wasser in derselben Zeit 1400 Meter zurück, im Eisen sogar 4000 Meter. Versuche mit Granit, der bekanntlich zum größten Teil die uns zugängliche Erdkruste aufbaut, haben für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von Stoßwellen 2450 bis 3140 Meter ergeben. Für Nahbeben findet man durchschnittlich 3380 Meter. Ungefähr die gleiche Zahl

gilt für die Fortpflanzung der Bebenwellen über die Erdoberfläche hin, die man also aus der Zeit folgert, die zwischen dem Augenblicke des Bebens und der Ankunft der Hauptstörung liegt.

Diese nähere Untersuchung der Beziehungen der Wellenkurven und der Ankunftszeiten der Vorbeben gibt uns auch ein Mittel an die Hand, etwas über die Herdtiefe zu erfahren, wo der eigentliche Stoß erfolgte. Es ergeben sich da sehr verschiedene Werte für die verschiedenen Beben. Das von Charleston kam mindestens aus 107 km Tiefe herauf; für das große japanische Beben von 1891, das uns schon mehrfach beschäftigt hat, fand man Werte von mindestens 7 bis höchstens 16 km; das von Ischia dagegen kann seinen Sitz kaum einen Kilometer tief gehabt haben.

Wie wir schon sahen, nimmt die Geschwindigkeit der Fortpflanzung im Erdinnern wesentlich zu. Auf einem Punkte, der dem Epizentrum gerade antipodisch gegenüberliegt, kommt das erste Vorbeben schon nach 17 Minuten an: die Welle legt also 20 km in der Sekunde zurück. Solche Wellen verhalten sich ganz wie Schallwellen, und es ist deshalb zu erwarten, daß sie hier im Antiepizentrum wieder zurückgeworfen werden nach ihrem Ursprungsorte, etwa einem Echo zu vergleichen. Diese Rückkehr muß nach 34 Minuten stattgefunden haben, und nun zeigt es sich in der Tat, daß starke Erdbeben sich oft nach 34 Minuten wiederholen. Namentlich hat dies Messerschmitt bei dem Beben vom 4. April 1904 nachgewiesen, das die Balkanhalbinsel erschütterte. Auch noch andere Reflexwirkungen an der Erdoberfläche konnte der Genannte an diesem Beben verfolgen, wahrscheinlich sogar eine nochmalige Vibration der ganzen Erdkugel, die sich nach 68 Minuten registrierte.

Alle diese Erfahrungen der Erdbebenforschung zwingen zu der Überzeugung, daß das Erdinnere einen sehr harten, äußerst elastischen Kern einschließt, der nicht bis in größere Tiefen von einem breiartigen Magma umgeben sein kann, das notwendig die Stoßwirkung größtenteils aufheben müßte und sie auch nur viel langsamer fortpflanzen könnte, als wir es durch unsere registrierenden Instrumente wahrnehmen. Also

auch die Erdbeben bestätigen unsere theoretischen Schlüsse über den Zustand des Erdinnern. Namentlich kann kein Zweifel darüber bestehen, daß bis in Tiefen von etwa 100 km, in denen man die Lage gewisser Hypozentren zu suchen hat, eine harte, elastische, nicht eine plastisch nachgiebige Erdkruste vorhanden ist.

Wie aber erklären wir uns die Entstehung dieser gewaltigen Stöße im Erdinnern? Unsere Erfahrungen über die Verteilung der Bebengebiete über die Erdoberfläche haben uns eine Gesetzmäßigkeit verraten, die uns ein wichtiger Fingerzeig werden muß. Wir sahen sie nur in Gebieten häufig auftreten, wo nach unzweifelhaften geologischen Befunden eine Erdscholle zerrissen und ihr einer Teil gegen den andern abgerutscht war, oder wo ein Graben- oder Kesselbruch stattgefunden hatte, oder endlich, wo auf dem Meeresgrunde ähnliche Verhältnisse mindestens zu vermuten sind. Die Beben müssen Fortsetzungen oder Nachwirkungen dieses tektonischen Prozesses sein, der der Erdoberfläche ihre topographische Gestalt gibt.

Wie können wir uns nach unsern neuen Vorstellungen vom Erdinnern diesen einerseits die Gebirge, anderseits die Meeresbecken bildenden Prozeß vorsichgehend denken? In meinem Kosmosbändchen „Die Weltschöpfung" habe ich schon eingehender davon gesprochen. Die Schrumpfungstheorie, die dort als Hauptursache angenommen wurde, kann auch noch bei den neuen Ansichten über das Erdinnere gelten. Gerade bei einem festen Erdkerne wird die sich abkühlende Oberflächenkruste noch eher das Bestreben haben, an der einen Stelle sich über der unnachgiebigen Unterlage in Falten zusammenzudrängen, an andern Stellen dagegen aufzuspalten, damit die durch die Abkühlung kleiner werdende Haut des Planeten sich über dem wesentlich unverändert bleibenden Kerne zurechtlegen kann. Ganz besonders verständlich werden uns dann diese gewaltigen Vorgänge im Erdinnern, wenn wir es uns nach der auf Seite 15 geschilderten Tammannschen Ansicht aus einzelnen „Zellen" zusammengesetzt denken. Derartige große Hohlräume werden häufig zusammenstürzen müssen, wenn ihr Inhalt sich in einen andern Hohlraum ergießt, wozu der sich beständig ändernde Gleichgewichts-

zustand im Erdinnern mancherlei Anlaß gibt. Solche in vielleicht sehr beträchtlicher Tiefe stattfindenden Einstürze brauchen sich zunächst nur durch gewaltige Erdbebenstöße an der Oberfläche zu erkennen zu geben, ohne eine wesentliche Veränderung auf ihr hervorzurufen. Dies würde dann die aus großer Tiefe kommenden und zugleich weite Gebiete erschütternden Beben erklären. Findet der Einsturz in geringerer Tiefe statt, so ereignet sich dann ein auch für uns nicht nur fühlbares, sondern auch sichtbares Einsturzbeben. Die häufige Wiederholung solcher Vorgänge im Laufe der geologischen Zeitalter bringt dann die Graben- und Kesselbrüche hervor, bildet die Absturzküsten und die Meerestiefen. Andererseits können auch aufwärts gerichtete Stöße dadurch entstehen, daß andere Kammern des Erdinnern sich mit Magmaflüssigkeit füllen, die nach oben durchzubrechen trachtet. Dies führt uns dann zu den vulkanischen Erscheinungen hinüber, die uns bald eingehender beschäftigen sollen.

Die hauptsächlichsten Verschiebungen aber, die wir sowohl als Nachwirkungen makroseismischer Erscheinungen direkt wahrnehmen, wie namentlich die Erzitterungen des Bodens, die die mikroseismischen Beobachtungen erkennen lassen, zeigen eine horizontale Richtung. Woher kommen diese horizontalen Kräfte? Man glaubt, wie neuerdings Penck, an weite Wanderungen, die große Schollengebiete während früherer Entwicklungsperioden der Erde über ihre Oberfläche ausgeführt haben müssen. Hierfür gibt es geradezu keine andere Erklärung als die auch durch eine ganze Reihe anderer geologischer Tatsachen geforderte Wanderung der Pole über die Erdoberfläche hin, während allerdings die meisten Forscher sich an diesen Gedanken immer noch nicht gewöhnen können.

Wir haben schon Seite 21 gesehen, daß die Umdrehungsachse der Erde in der Tat keine feste Lage im Erdkörper hat. Dadurch kommt es zu Spannungen in seinem elastischen Innern, weil der ungeheure Ringberg von 11 km Höhe, der sich um den Äquator gelegt hat, um der Umschwungskraft der rotierenden Erde zu genügen, je nach der veränderten Lage der Erdachse nord- oder südwärts zu wandern trachtet und dabei das ganze übrige an ihm hängende Schollengebiet schiebt. Daß

dies in Wirklichkeit stattfindet, zeigt die neuere Erdbebenstatistik, die eine erhöhte Bebentätigkeit für die Zeiten nachwies, in denen sich nach den astronomischen Beobachtungen die Erdachse am schnellsten verschob, oder ihre Richtung änderte. So war z. B. das Jahr 1895 besonders erdbebenarm, da nur 9 größere Ereignisse dieser Art verzeichnet wurden. Auch die Polschwankungen waren damals gering; sie betrugen 0,53 Bogensekunden. Dagegen fanden 1897 etwa 45 größere Beben statt, und die Polschwankung ging gleichzeitig auf den doppelten Betrag hinauf: 1,07 Sekunden. 1899 sank die Bebentätigkeit auf 27 herunter, die Polschwankung auf 0,72 Sekunden. In die neueste Zeit hinein konnten die Resultate der Polschwankungen noch nicht ermittelt werden, die aus einem die ganze Erde umfassenden Beobachtungsdienste hergeleitet werden müssen. Es würde interessant sein, zu erfahren, wie sich das so ungemein bebenreiche Jahr 1906 zu den Polschwankungen verhalten hat.

Nun ist freilich die Ursache der Polschwankungen selbst noch nicht genügend ermittelt. Es wäre nicht unmöglich, daß diese die Folgen und nicht die Ursachen der Erdbeben sind, oder daß eine gemeinsame Ursache beide Erscheinungen zeitigt. So gewaltige Einstürze im Erdinnern, wie wir sie uns als Ursachen der weitverbreiteten und aus großer Tiefe kommenden Erdbeben denken, müssen den Schwerpunkt der Erdmasse merklich verlegen und dadurch Schwankungen der Erdachse hervorbringen. Hier sind die Untersuchungsakten noch längst nicht abgeschlossen.

Ehe solche Einstürze und gewaltsamen Verzerrungen der Erdrinde eintreten, müssen offenbar ungeheure Spannungen sich in ihr anhäufen, die schließlich nur eines geringen Anlasses bedürfen, um die plötzliche Auslösung zu bewirken. Es ist deshalb und auch ganz im allgemeinen von Wichtigkeit, zu erforschen, welche Zusammenhänge etwa zwischen den Erdbebenerscheinungen und andern Naturereignissen zu entdecken sind.

Da machte seinerzeit die Behauptung Rudolf Falbs viel Aufsehen, daß die Erdbeben und Vulkanausbrüche mit der Stellung des Mondes zusammenhängen sollten. Der allzu phantasiereiche und dabei allzuwenig kritische Schriftsteller

ging von der alten Ansicht aus, es befände sich unter unsern Füßen ein Meer glühend-flüssigen Gesteins, das seine Ebbe und Flut mit dem Umlauf des Mondes wechselte. Wenn dann solche Flutwelle gegen die feste Kruste unten schlägt, so müßte sie allerdings heftige Beben erzeugen können, und zugleich würden auch die Vulkane, die man sich als „Sicherheitsventile“ mit jenem feurigen Innern in unmittelbarer Verbindung dachte, aus ihren Feuerschlünden einen Teil des überflutenden Magmameeres entleeren müssen. Auf das unkritische Publikum machten die scheinbar häufig eintreffenden Prophezeiungen Falbs auf Grundlage seiner kritischen Tage großen Eindruck. Aber es läßt sich zunächst zeigen, daß diese „Theorie“ eine so außerordentliche Dehnbarkeit hat, weil so ziemlich jeder dritte Tag ein „kritischer“ ist, daß ein Mann der strengen Wissenschaft, um Falb ad absurdum zu führen, einmal zeigte, daß auch alle Reden Bismarcks auf kritische Tage fielen, und also nach dieser Ansicht die ganze Politik Deutschlands, die Bismarck durch diese Reden lenkte, vom Monde diktiert worden wäre. Abgesehen von dieser Dehnbarkeit an sich hat auch die sorgfältigste Statistik, die namentlich der schon weiter oben erwähnte Montessus de Ballore an der Hand von mehr als 100 000 Einzelbeben ausführte, einen solchen Zusammenhang nicht erkennen lassen. Nach unsern neuen Ansichten von der elastischen Beschaffenheit des Erdballes als Ganzes könnte man dagegen einen geringen Einfluß des Mondstandes auf die Häufigkeit der Beben theoretisch wieder für wohl möglich erklären. v. Rebeur-Paschwitz rechnete aus, daß die ganze Erdkugel infolge ihrer elastischen Nachgiebigkeit Pulsationen machen müsse derart, daß z. B. in Straßburg eine Hebung der Oberfläche durch solche Erdmondflut von etwa 22 cm stattfinden müsse. In Wirklichkeit hat man durch genaue Beobachtungen eine entsprechende Bewegung der Lotrichtung nachweisen können. Würden nun anderweitige Spannungen in der Erdrinde sich bereits derart angehäuft haben, daß es nur einer so geringen Veränderung der Schwere der auflagernden Scholle bedürfte, wie sie diese spezielle Mondanziehung hervorbringt, so könnte diese Mondstellung wohl ein Beben auslösen. Aber, wie gesagt, die Tatsachen der Beobachtung bestätigen solchen Einfluß nicht.

Dagegen zeigt es sich unzweifelhaft, daß die Erdbeben an eine jährliche Periode gebunden sind. Sie treten über die ganze Erde hin in der kalten Jahreszeit häufiger auf als in der warmen, so daß also das Häufigkeitsmaximum auf der Südhalbkugel gegen die unsrige um ein halbes Jahr verschieden ist. Ihre Ursache kann deshalb nicht in der Stellung der Sonne zur Erde zu suchen sein, etwa in der veränderten Anziehung, die durch die größere Sonnennähe während unseres Winters stattfindet. Dieser Zusammenhang erschien zunächst rätselhaft, da man in der verschiedenen Erwärmung des Bodens eine so starke Wirkung nicht suchen konnte. Man fand aber bald, daß die wahre Ursache nicht in der verschiedenen Erwärmung in den Sommer- und Wintermonaten, sondern in den wechselnden Luftdruckverhältnissen zu jenen Jahreszeiten begründet ist. Im Winter liegt über Europa ein Luftdruckmaximum, dem über dem nordatlantischen Ozean ein niedriger Luftdruck gegenüberliegt. Im Sommer dagegen ändern sich diese Verhältnisse wesentlich. In der folgenden Tabelle ist die Häufigkeit der Erdbeben in Europa diesen Luftdruckdifferenzen zwischen Land und Meer nach F. Seidl gegenübergestellt.

Monatliche Verteilung von Bebenhäufigkeit und Luftdruckunterschieden in Europa:

Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember
Häufigkeit der Erdbeben von 306 bis 1842											
147.7	138.6	119.4	104.6	94.7*	95.4	100.4	101.8	110.2	110.9	123.7	136.4
Luftdruckunterschiede in Millimetern auf einem SO—NW verlaufenden Gebiete von 2820 km Länge											
12.6	8.0	4.2	1.6	-0.2*	0.6	0.4	1.5	5.3	9.2	6.0	9.3

Der Zusammenhang drückt sich in diesen Zahlen auf das deutlichste aus. Die fettgedruckten beiden Zahlen für Januar sind die maximalen für beide Zahlenreihen, die mit Stern versehenen für Mai die minimalen. Um diese Beziehungen zu verstehen, wolle man bedenken, daß die Luft auf jeden Punkt der

Erdoberfläche so stark drückt wie eine Quecksilbersäule von 760 mm Höhe. Es folgt daraus, daß jeder Quadratkilometer der Erdoberfläche beim Steigen des Barometers um nur einen Millimeter mit 13,6 Millionen Kilogramm mehr belastet wird. Man sieht also, welche ungeheuren Belastungsunterschiede der wechselnde Barometerstand hervorruft, die wohl zu Auslösungen jener Spannungen Anlaß geben können, durch welche die Erdbeben sich vorbereiten. Die Rubrik „Erdbeben", die man wohl auf alten Barometern unter „Sturm" angegeben findet, hat also eine gewisse Berechtigung. Endlich ist auch die Wahrnehmung, daß Beben häufig von starken Regengüssen und Sturm begleitet sind, verständlich. Beide Erscheinungen, die meteorologische und die seismische, sind eben unter Umständen Folgen sehr tiefen oder rasch wechselnden Luftdruckes.

Man hat nun auch nach einer täglichen Periode der Erdbeben gesucht und glaubte gefunden zu haben, daß diese in der Nacht häufiger seien als am Tage. Aber dies kann wohl auch nur scheinbar sein, weil anzunehmen ist, daß man in der Ruhe der Nacht leichter Erzitterungen des Bodens verspürt. Aus den Aufzeichnungen der Instrumente ist eine solche Periode jedenfalls noch nicht mit Sicherheit nachzuweisen.

Einen sehr merkwürdigen und noch ganz geheimnisvollen Zusammenhang mit den Erdbeben zeigen die Bewegungen der Magnetnadel. Nachdem man schon seit langer Zeit bemerkt hat, daß die Magnetnadel einige Zeit vor Eintritt eines Bebens in große Unruhe kam, hat man erst neuerdings die Angaben der feinen Instrumente, welche die geringsten Schwankungen der magnetischen Kraft der Erde verzeichnen, mit den Aufzeichnungen der Seismometer verglichen. Dabei konnte der japanische Erdbebenforscher Omori nachweisen, daß in den letzten Jahren sich fast ausnahmslos bereits einige Tage vor einem stärkeren Beben magnetische Störungen einstellten. Würde sich dieser Zusammenhang allgemeiner bestätigen, so hätte man hier einen so lange gesuchten Weg, diese gefürchtetsten aller Naturereignisse vorherzusagen.

Erwägt man, daß magnetische Stürme, d. h. durch wilde Zuckungen der Magnetnadel erkennbare Erdströme, die, unter der Oberfläche hinrasend, den elektrischen Zustand der Erde ganz wesentlich verändern, immer auftreten, wenn mächtige Sonnenflecke ihre Trichterschlünde gerade der Erde zukehren, so würde man schließen müssen, daß jene gewaltigen Eruptionen des Zentralherdes unseres Planetensystems ihre Wirkung bis in die Tiefen des Erdballes ausdehnen, die sie zur gleichen Zeit erschüttern, wenn die strahlende Atmosphäre der Sonne durch urgewaltige Revolutionen in ihrem Innern wild zerrissen wird. So sind einige Forscher der Ansicht, daß ein heftiges Erdbeben, das am 31. Oktober 1903 in Persien 350 Menschenleben forderte, nachdem vorher im ganzen Monat Oktober eine verhältnismäßig große allgemeine seismische Ruhe geherrscht hatte, wohl eine Folge des gerade an diesem Tage eingetretenen magnetischen Sturmes von ungewöhnlicher Heftigkeit gewesen sein könne, der seinerseits wieder von gewaltigen Sonnenflecken, die um diese Zeit die Mitte der Sonnenscheibe einnahmen, verursacht wurde. Bestände dieser zunächst nur vermutete Zusammenhang wirklich, so müßte man in der Häufigkeit der Erdbeben auch die elfjährige Sonnenfleckenperiode wiedererkennen können. In den fleckenreichen Jahren müßte die Erde häufiger und heftiger erzittern. Das Jahr 1906 mit seinen fürchterlichen Bebenkatastrophen, das zugleich auch ein Fleckenmaximumjahr war, würde diese Vermutung unterstützen.

Was sagt uns nun die vulkanische Tätigkeit der Erde von dem Zustand des Erdinnern aus, den sowohl unsere vorangeschickten theoretischen Betrachtungen wie auch die Erforschung der Erdbeben mit großer Wahrscheinlichkeit als einen in der Hauptsache festen kundgaben? Welche Beziehungen, so haben wir uns dabei zunächst zu fragen, bestehen zwischen den Erdbeben und den Vulkanausbrüchen?

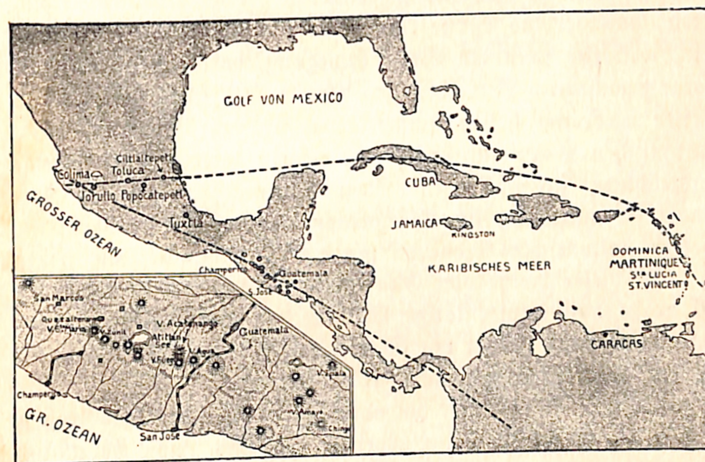
Wir haben schon erfahren, daß, wenn wir die deutlich durch vulkanische Tätigkeit erzeugten Beben, die immer nur auf ein relativ beschränktes Gebiet ausgedehnt sind, von den großen tektonischen trennen, beide Erscheinungen direkt nichts miteinander zu tun haben. Es können sich starke Beben über Gebiete ausbreiten, die von tätigen Vulkanen besetzt sind, ohne daß diese sich im mindesten regen. Als im Vogtlande die Erde jahrelang bebte, zeigte der benachbarte Karlsbader Sprudel,

den wir noch als den Rest einer einst umfangreichen vulkanischen Tätigkeit kennen lernen werden, auch nicht die geringste Änderung seiner Tätigkeit oder seiner mineralischen Zusammensetzung.

Dennoch kann es keinem Zweifel unterliegen, daß die vulkanische Tätigkeit und die Erdbeben eine gemeinsame Ursache haben müssen; denn die Verteilung der Vulkane über die Erdoberfläche ist durchaus dieselbe, wie die der Erdbebengebiete. Überall, wo wir große Senkungen des Bodens wahrnehmen, namentlich da, wo diese Senkungen zur Erzeugung von Meeren führten, sind die Küstensäume von entweder noch tätigen oder doch heute erloschenen Vulkanen besetzt. Die geographisch geordnete Aufzählung der Vulkane wird in der Hauptsache eine Wiederholung unserer Aufzählung der Erd- und Seebebengebiete der Erde. Wir haben die Vulkanreihen in der Bebenkarte auf Seite 36 mit eingezeichnet. Wir erkennen darauf, wie das ganze Becken des Großen Ozeans von tätigen Feuerbergen umkränzt wird. Beginnen wir wieder unsern Überblick mit der Gegend des Bebengebietes A, so sehen wir, wie es im Norden von der durchaus vulkanischen Inselkette der Aleuten begrenzt ist, die die zerbrochene Brücke nach Asien hinüber gegen Kamtschatka hin bilden. Auch unter dem Meere ist in dieser Gegend der Aleuten die vulkanische Tätigkeit noch äußerst heftig. Wiederholt sind hier Vulkaninseln in voller Eruption aus dem Meere emporgetaucht, so die beiden Bogoslof-Vulkane, von denen der eine sich aus „dem erbebenden und in wildem Aufruhr Dampf und Rauch aufwirbelnden Meere" am 7. Mai 1796 vor den Augen entsetzter Seefahrer erhob und seitdem abwechselnd im Aufsteigen und Niedersinken ist (1832 maß der Vulkankegel 1500, 1873 nur noch 850 Fuß), der andere am 27. September 1883 zuerst gesehen wurde, aber noch 1901 nicht erloschen war. Die amerikanische Festlandseite des Schüttergebietes A zeigt dagegen zum größten Teil nur erloschene Vulkane, die allerdings in der Vorzeit außerordentlich heftige Ausbrüche und weit ausgedehnte Lavaergüsse gehabt haben, die sich bis zum Yellowstonepark mit dessen wunderbaren Geisern hin erstrecken.

Dagegen ist der Bebenherd B an seinem Festlandrande von

einer Reihe der gewaltigsten Vulkane begleitet, die gegenwärtig in voller Tätigkeit sind. Hier ist eine Karte dieses für uns ganz besonders interessanten Gebietes abgedruckt. Die beiden über die Karte hingezogenen punktierten Linien geben die Lage zweier Spaltensysteme der Erdrinde an, die sich hier kreuzen. Die eine läuft an der pazifischen Küste längs der hier nicht sehr hohen Andenkette hin. Sie trägt an der Kreuzungsstelle den 4300 Meter hohen Colima, der am 13. Mai 1902, wenige Tage nach der Katastrophe von Martinique, einen verheerenden Ausbruch hatte. Auf dieser pazifischen



Karte von Zentralamerika.

Bruchlinie befindet sich auch in Guatemala der Vulkan de Santa Maria, der am 24. Oktober jenes selben an Erdbeben und Vulkanausbrüchen so besonders reichen Jahres ganz furchtbar zu wüten begann. Hier hatte die Erde bereits seit Anfang des Jahres fast beständig gebebt, so daß die Einwohner der dem Vulkan benachbarten Stadt Quezaltenango, obgleich sie ja auf jener „Hängematte" wohnten, wo man sich an solche Bewegungen des Erdbodens längst gewöhnt hat, doch beängstigt, soweit es ging, auf freiem Felde ihre Lager aufschlugen, als sich nach abermaligen heftigen Erdstößen plötzlich der Berg weit unter seinem Gipfel öffnete und eine ungeheuere

Rauchsäule, dann mächtige glühende Steine und große Mengen weißer Asche ausstieß. Wir werden ganz ähnlichen Vorgängen bei dem großen Ausbruch des Vesuvs von 1906 begegnen. Dort aber, in Guatemala, war, im Gegensatze zum Vesuv, das Erdbeben ganz entsetzlich. Noch zwei Tage nach dem ersten Ausbruch berichtet ein Augenzeuge: „Das starke Beben hat sich tagsüber in ein einziges, fortwährendes Schütteln verwandelt, das ein Gefühl erweckte wie an Bord eines Schiffes auf hoher See.“ Wenn aber dieses Beben sich noch bis über einen Umkreis von etwa hundert Kilometern fühlbar gemacht hatte, so war es doch als „Fernbeben“ nicht bedeutend. Die Tiefe, aus der die Stöße kamen, konnte also nicht sehr groß sein, weil sich sonst die Wellenbewegung, entsprechend unseren vorangegangenen Betrachtungen (Seite 50) schon unterirdisch weiter verbreitet haben müßte. Da, wie wir erfuhren, alle vulkanischen Beben sich durch eine relativ geringe Ausdehnung auszeichnen, so müssen wir den vulkanischen Herden, von denen sie ausgehen, im allgemeinen auch eine gegenüber den Herden tektonischer Erdbeben geringe Tiefe zuschreiben.

In dieser Reihe von Guatemala liegen nicht weniger als 16 große, fast immer tätige Vulkane auf einem Flächenraum zusammen, nicht größer wie die Schweiz. Der höchste von ihnen ist der Acatenango, mit 4150 Metern.

Auf der Querspalte, die nach Osten hin über die Großen und Kleinen Antillen im Norden des uns schon bekannten karaibischen Kesselbruches hinzieht, reiht sich an den oben erwähnten Colima zunächst der Jorullo, der, 130 km von der Meeresküste entfernt, nach wilden Bewegungen des Erdbodens sich 1759 vor den Augen einer entsetzten Bevölkerung aus einer fruchtbaren Ebene erhob, die sich aufwölbte, spaltete und züngelnde Flammen aus der Tiefe stieß, ehe der Feuerberg geboren wurde.

Ihm reihen sich nach Osten der Toluca, 4600 Meter, und dann der berühmte Popokatepetl mit 5450 Metern an. Diesem folgen noch einige wenige hohe Vulkane, worauf die Bruchlinie, an den nicht vulkanischen Großen Antillen vorüber, zu den Kleinen Antillen gelangt, wo sich auf Martinique der berüchtigte Mont-Pelé, dessen Ausbruch am 8. Mai

1902 uns noch besonders beschäftigen wird (S. 86) und die Soufrière auf St. Vincent, zwar beide nicht zu großer Höhe über das Meer erheben (etwa 1300 Meter), während der Meeresboden zwischen den nur je aus einem einzigen Vulkankegel bestehenden Inseln sich 2000 Meter tief hinabsenkt.

Wir sind hier auf dieser Querspalte, die den ganzen Atlantischen Ozean durchsetzt, bereits in das Gebiet des Bebenherdes C gelangt, dem sich am Westrande Südamerikas der Herd D angliedert. In ihm begegnen wir den höchsten Vulkanen der Erde, vom Cotopaxi in Quito, 5943 Meter, und dem Sajama in Peru, 6415 Meter, wozu allerdings zu bemerken ist, daß diese Feuerberge auf einem 3000—4000 Meter hohen Sockel aus Urgestein, das ihre Schlünde vorher durchbrechen mußten, ihre Kegelberge aufgetürmt haben. Tatsächlich der höchste Vulkan der Erde, der sich ausschließlich aus seiner eigenen Kraft und mit eigenem Material aufbaute, ist der Kliutschewskaja auf Kamtschatka, der sich 5180 Meter über den Meeresspiegel erhebt, von dem er unmittelbar aufstrebt, und dabei ist noch zu bedenken, daß in seiner nächsten Nähe der Meeresgrund bis zu mehr als 6000 Meter abstürzt.

Längs der südamerikanischen Küste kann man drei Gruppen von Vulkanreihen unterscheiden, die peruanische, die nord- und südchilenische. In den Zwischengebieten ist heute die vulkanische Tätigkeit erloschen. Wir haben schon erfahren, daß gerade in einem solchen Gebiet Valparaiso liegt, das ebenso wie das betreffende kalifornische Gebiet so häufig von verheerenden Beben getroffen wurde.

Der gewaltige Zug der Anden erstreckt sich, von der Magelhaensstraße unterbrochen, noch bis in das Landgebiet des Südpols hin, dessen geographische Verhältnisse in ihren großen Zügen durch die erfolgreichen neueren Südpolarexpeditionen aufgedeckt zu werden beginnen (siehe deswegen auch des Verfassers Kosmos-Schrift „Die Rätsel der Erdpole“). Hier befinden sich die beiden unter einer mächtigen Eisdecke begrabenen Vulkane Erebus und Terror, von denen der erstere sich gegen 4000 Meter erhebt.

Dem Bebenherde E gehört außer dem soeben genannten mächtigsten aller Vulkane auf Kamtschatka die so sehr zahl-

reiche japanische Vulkanreihe an. Unter ihnen ist der Fusijama der „populärste“, der auf so vielen japanischen Landschaftsbildern als imposante abschließende Pyramide dargestellt wird. Dieser Riesenvulkan steht 3780 Meter hoch hart an einer 6000 Meter abstürzenden Meeressenkung. Japanische Überlieferungen behaupten, daß er erst 286 v. Chr. entstanden sei.

Wir gehen auf das Bebengebiet F des ostindischen Archipels über. Hier erheben sich wieder lange Reihen außerordentlich tätiger Vulkane, namentlich auf Java und Sumatra. Hier, in der Sundastraße, ereignete sich 1883 die gewaltige Katastrophe des Krakatau, auf die wir noch zurückkommen müssen (Seite 88). Eine andere Vulkanreihe zieht sich im Süden des Großen Ozeans über die Südsee-Inselgruppen hin und sendet einen Ausläufer nach Neu-Seeland.

Die Bebenherde G im Indischen und H im Atlantischen Meere besitzen offenbar Reihen von unterseeischen Vulkanen, da hier die Seebeben sich an bestimmte Stellen halten. Im Herde H liegen die durchaus vulkanischen Azoren. Ein unterseeischer Höhenzug geht hier neben großen Senkungen her. Nördlich grenzt an diesen Herd das vulkanisch so außerordentlich interessante Island.

Alle diese Vulkanreihen lagen, wenn auch nicht immer unmittelbar, an Meeresküsten, beziehungsweise sogar unter dem Meere. Wir wissen schon, daß der einzige Bebenherd, der auf dem Festlande liegt, der kaukasische ist. Hier treten heute vulkanische Erscheinungen nur noch ersterbend auf, während viele alte Vulkane in ähnlicher Weise aufgereiht sind, wie in den übrigen Gebieten die tätigen.

Wo außerhalb der erwähnten Bebenherde noch tätige oder erloschene Vulkane vorkommen, gehören sie ausnahmslos Kessel- oder Grabenbrüchen an, so die italienischen Vulkane, die man im übrigen noch in das angrenzende kaukasische Bebengebiet einreihen kann. Dem tyrrhenischen Kesselbruch verdanken der 3300 Meter hohe Ätna, der den höchsten Vulkanbergen zuzurechnen ist, dann die so vielseitig interessanten liparischen Vulkane mit dem immer tätigen Stromboli ihre Entstehung. Der Vesuv und die Vulkane der Phlegräischen Felder stehen

am Rande der Senkung des neapolitanischen Golfes. Der rheinische Grabenbruch wird von den Eifelvulkanen flankiert, die einst eine furchtbare Tätigkeit entwickelt haben müssen. Ganz in der Nähe des Bebengebietes im Vogtlande finden wir alte Vulkane, von denen einer, der Eisenbühl, vermutlich sogar noch in früh historischen Zeiten eine letzte Eruption gehabt haben mag. Außerdem befindet sich hier der „Wasservulkan“ des Karlsbader Sprudels. Am ostafrikanischen Graben erhebt sich der alte Vulkanberg des Kilimandscharo zu 6000 Metern Höhe. In seiner Nähe zeigen sich noch schwache vulkanische Erscheinungen.

Mit dieser summarischen Aufzählung haben wir auch die Vulkangebiete der Erde so ziemlich erschöpft. Im ganzen trägt die Erde 200—300 tätige Vulkane. Ihre Zahl ist schwer genau anzugeben, da der Begriff „tätig“ oder „erloschen“ nicht scharf zu nehmen ist. Die weiten kontinentalen Landschollen, die frei von primären Erdbeben sind, besitzen auch keine Vulkane. Wir haben also die beiden Tatsachen zu verzeichnen, daß einerseits die Erdbeben- und Vulkangebiete zusammenfallen, daß aber andererseits die Betätigung der Vulkane mit der jener Erdbebenherde keineswegs zusammenfällt. Wenn Vulkane die Erde erbeben ließen, so geschah dies offenbar nur durch die explosiven Vorgänge während der Eruptionen selbst, oder doch während sich diese nicht eben sehr tief unter der Oberfläche vorbereiteten. Ebenso erschüttern ja auch von Menschen hervorgebrachte Explosionen die Erde oft in nicht unbeträchtlichem Maße. Jene vergleichenden Gegenüberstellungen beweisen also, daß die Ursachen der ausgedehnten Beben das Primäre sein müssen, durch das irgendwie die Entstehung der Vulkane ermöglicht wurde, daß diese aber alsdann eine selbstständige Tätigkeit entwickelten, die, wie hier gleich hinzugefügt werden mag, stets eine vorübergehende gewesen ist. Die Vulkane sind ephemere Erscheinungen der Erdoberfläche.

Mit dieser ausgesprochenen Unabhängigkeit der vulkanischen von den großen seismischen Äußerungen ist aber noch nicht bewiesen, daß die letzteren nicht doch etwa gewaltigen Vorgängen tief unter der Oberfläche zuzuschreiben seien, die vulkanisch zu nennen sind, indem sie etwa aus den Wirkungen

eines inneren glühend flüssigen Kernes ihren Ursprung nehmen. Es wird nötig sein, die von uns direkt wahrnehmbaren vulkanischen Erscheinungen auf alle diese Fragen hin prüfend zu beobachten.

Aber die Betätigung der Vulkane ist so sehr verschiedener Art, daß es schwer fällt, von vornherein einen Faden zu finden, an dem wir unsere Beobachtungen aneinanderreihend zusammenfassen können. Man erlaube mir deshalb mit eigenen Augenscheinsbeobachtungen zu beginnen, die ich durch eine längere Reihe von Jahren am Vesuv und gelegentlich auch an den andern italienischen Vulkanen zu machen Gelegenheit hatte. Der Vesuv ist ja der klassische Vulkanberg seit der denkwürdigen Katastrophe von Herkulanum und Pompeji (italienisch Pompei geschrieben), der die vom 7./8. April 1906 nur wenig an Großartigkeit und Umfang der Verwüstungen nachsteht, wenn auch glücklicherweise viel weniger Menschenleben dabei vernichtet wurden. Diesen letzten großen Ausbruch hatte ich das Glück, bis in alle Einzelheiten aus größter Nähe zu beobachten.

Die erste Bekanntschaft mit diesem besuchtesten aller Feuerberge machte ich bereits 1875, drei Jahre nach seinem letzten großen Ausbruche vor dem von 1906. Obgleich seit einem Jahre kleinere Eruptionen auf den großen Ausbruch in der Nacht vom 25. auf den 26. April 1872 vorbereitet hatten, so trat er doch unerwartet plötzlich ein, so daß eine Anzahl Personen, die sich bis nahe an den Kraterrand gewagt hatten, um das herrliche Schauspiel der kleineren Ausbrüche in der Nacht zu genießen, in den Lavafluten umkamen, die sich aus dem plötzlich seiner ganzen Länge nach sich spaltenden Aschenkegel ergossen. Wir müssen uns die Örtlichkeit vergegenwärtigen, um die Vorgänge besser zu verstehen.

Der Vesuv erhebt sich am Golf von Neapel um etwa 1300 Meter in jener bekannten, zweihöckerigen Gestalt. Von Neapel aus ist es der rechte Höcker, aus dem die Eruptionen hervorbrechen. Der linke ist die um etwa 200 Meter niedrigere Somma, die in Wirklichkeit eine halbkreisförmig den eruptiven Aschenkegel im Norden umgebende Mauer aus vulkanischen Produkten ist, während sie selbst keine vulkanischen Erscheinungen mehr zeigt. Alle Umstände machen es wahrscheinlich, daß sich diese Mauer vor dem Ausbruch von 79 n. Chr., der die schönen Römerstädte vernichtete, auch im Süden nach der Seeseite zu einem vollkommenen Ringe fortsetzte. Damals war der Vesuv bekanntlich ein bis obenhin umgrünter Berg, den niemand für einen Vulkan halten konnte. Der gegenwärtige Aschenkegel existierte nicht, und der Ringwall umschloß eine Ebene, in der die Schafe weideten. Der Rest dieser Ebene zwischen der noch stehengebliebenen Mauer der Somma und dem inzwischen aufgetürmten Aschenkegel heißt das Atrio (del Cavallo) und ist heute ganz und gar von Lavaströmen über-



Der Aschenkegel des Vesuv mit einem Teil des Atrio und der Somma.

flutet. Die hier stehende Aufnahme mag die Situation veranschaulichen. Rechts sieht man einen Teil des Ringwalles der Somma. Wir werden solchen Ringwällen, wie sie die Somma einstmals gebildet haben muß, noch mehrfach begegnen; sie sind für einen bestimmten Typus von Vulkanen charakteristisch, dem aber der Vesuv heute nicht mehr angehört.

Sogleich nach dem großen Ausbruch von 1872 hatte sich der Vesuv fast völlig beruhigt. Als ich ihn 1875 besuchte, befand er sich nur noch in der sogenannten Solfatarentätigkeit, das heißt, er stieß nur noch schweflige und andere Dämpfe aus, ohne eigentliche Eruptionen. Die Kratereinsenkung auf

seinem Gipfel war ein weiter und tiefer, mehrere hundert Meter im Durchmesser haltender Kessel, der überall an seinen Innenrändern, nicht nur aus der Tiefe, diese Dämpfe abgab, so daß hier das ursprünglich schwarze Gestein von den sich absetzenden Schwefelkristallen gelb, an anderen Stellen von Eisenchlorid rot, an wieder anderen von Chlornatrium (Kochsalz) weiß gefärbt war. Auf den Grund des Kraters konnte man wegen der beständig aufwirbelnden erstickenden Dämpfe nicht sehen.

Als ich den Vulkan dann 1903, also drei Jahre vor seinem letzten großen Ausbruch, wiedersah, hatte sich seine Tätigkeit wesentlich verändert. Es fanden in Zwischenräumen von oft nur fünf Minuten beständig kleine Eruptionen statt, die die dunklen Rauchmassen nach dumpfem, unterirdischem Rollen immerhin mehr als hundert Meter emporwarfen; zugleich flogen Lavafetzen und Steine heraus, die gelegentlich auch auf den äußeren Kraterrand niederhagelten, so daß man die letzten Meter dorthin nach einer soeben erfolgten Eruption nur im Laufschritt zurücklegen und wenige Sekunden in die Kratergrube hineinblicken konnte, um dort nicht von einem neuen Ausbruch überrascht zu werden. Diese Kratergrube war seit meinem ersten Besuch viel kleiner und flacher geworden. Man unterschied auf ihrem Grunde zwei oder drei Löcher, aus denen der Rauch emporstieg. Dafür hatte der ganze Aschenkegel seither sich erhöht. Er hatte sich durch seine Auswurfsprodukte zugespitzt.



Nächtlicher Anblick des Vesuv im Frühjahr 1905. Aufnahme von Fumagalli.

Im Jahre 1905 hatte die Lava an verschiedenen Stellen den Aschenkegel 100 bis 200 Meter unter dem Kraterrande durchbrochen und

floß nun in langen, feurigen Strähnen den Abhang hinab ins Atrium. Dies fand immer auf der Seite gegen Neapel zu statt, also am Südwestabhange des Kegels. Namentlich nachts gewährte das einen prachtvollen Anblick, wenn dann zugleich aus dem Krater selbst herrliche Feuergarben hellglühenden Gesteins und rot beleuchtete Rauchballen geschleudert wurden, wie es die vorstehende, in 9 Sekunden erhaltene Nachtaufnahme veranschaulichen soll. Den Eindruck, den der Beschauer hatte, kann die Abbildung allerdings nicht wiedergeben.

Etwa sechs Wochen vor dem großen Ausbruch, im Februar 1906, besuchte ich abermals den Vesuv und ging auch zur Nachtzeit der fließenden Lava entgegen, soweit es möglich war. Es war ein unbeschreiblich schöner und ergreifender Anblick. Man konnte dem Ende der langgestreckten feurigen Zunge bis auf wenige Meter nahekommen, denn hier bewegt sich das zähflüssig gewordene Gestein nur noch langsam weiter. Auf der Oberfläche des feurigen Stromes und auch an seinem Ende bilden sich dunkle Schlacken, die von dem nachdrängenden Glutbrei erst durchbrochen werden müssen. Dann kollerten die dunkelroten Schlacken uns klirrend vor die Füße, und wie flüssiges Gold quoll hellleuchtend die freigelegte Lava nach. In dem ganzen Strom prasselte, klirrte, fauchte es wie von gewaltigen Hüttenwerken.

Die Tätigkeit des Vesuv nahm nun in immer bedenklicherer Weise zu. Anfang April sahen wir von Capri aus schon recht hohe Rauchsäulen aufsteigen, die nach Neapel zu getrieben wurden und dort bedrückende Aschenregen erzeugten. Dann öffneten sich unerwarteterweise auf der andern Seite des Aschenkegels, gegen Torre Annunziata und Pompeji hin, also im Südosten, neue Ausbruchsstellen, die die Lavaströme selbst bis in die oberen Weingärten verwüstend sandten.

Da die Ausbrüche des Vesuv immer imposanter wurden, vereinigten sich etwa hundertundfünfzig Personen auf Capri, um einen Extradampfer zu mieten, der uns zur Nachtzeit vor den mächtig arbeitenden Vulkan bringen sollte, wo man das gewaltige Schauspiel am besten überblicken konnte. Es traf sich so ungemein glücklich, daß gerade in dieser Nacht vom 7. auf den 8. April die große Endkatastrophe stattfand, die nur wir, mit

noch einigen in Pompeji befindlichen Personen, zu beobachten imstande waren, weil die ganze Gegend nach Neapel zu in dichten Aschenregen gehüllt wurde, während nach der andern Seite hin die niederströmenden Lavamassen alle Menschen zu wilder Flucht zwangen. Ich kann nichts Besseres tun, als die Schilderung des Ereignisses hier wortgetreu wiederzugeben, wie ich sie unter den frischen Eindrücken damals gleich niederschrieb, als ich von einem sofort nach der Katastrophe unternommenen Besuch des Schauplatzes dieses Gigantenkampfes der Naturmächte zurückgekommen war.

„Wir waren," so schrieb ich, „gegen 9 Uhr des Abends auf den Palmsonntag von Capri abgefahren, dem wütenden Riesen direkt entgegen. Er hatte inzwischen eine furchtbare Tätigkeit entwickelt. Durch die gewaltige, mehrere Kilometer hohe Rauchwolke, deren schwarze Ballen in beständiger Bewegung waren, wurden glühende Bomben bis zu 800 Metern Höhe emporgeschleudert. Zurückstürzend, sah man sie den Aschenkegel hinabkollern, der in seinem oberen Teile ganz von ihnen bedeckt war, so daß er völlig rotglühend zu sein schien. Dabei durchzuckten beständig Blitze die wirbenden Rauchmassen, sie blau und fahlgelb beleuchtend, während die Glutausbrüche sie tiefrot färbten. Und all das gigantische Spiel von Feuer und Blitzen spiegelte sich schauerlich in dem ruhigen Meere, auf dem wir den tobenden Naturgewalten langsam näher und näher schwammen.

„Auf seiner rechten Flanke schien der rasende Berg sich aufgespalten zu haben. Ein breiter Lavastrom, der sich weiter unten in mehrere Arme teilte, hatte sich gegen Bosco Trecase und Pompeji hin ergossen. Unten aber am Meere sah man noch die elektrischen Lichter brennen. Noch schienen die blühenden Ortschaften hier nicht ernstlich gefährdet.

„Da, während wir in den Anblick des gewaltigen Schauspiels versunken waren — lautlose Stille herrschte auf dem dichtbesetzten Schiff —, öffnete sich vor unsern Augen der entsetzliche Berg in der beträchtlichen Tiefe von mindestens 600 Metern unter dem Kraterrande, und fast weißglühend schoß ein ungeheurer Strom flüssigen Gesteins daraus hervor. Die neue „Bocca" warf viele Meter große Steine und Lavafetzen nach allen Seiten mit fürchterlicher Gewalt sprühend empor, und der Lavastrom

stürzte so schnell wie ein feuriger Wasserfall den Abhang hinab. Glühende Blöcke überschlugen sich, in mächtigen Sätzen hinab-



Ausbruch des Vesuv, am 7. April 1906 zwischen 7 und 9 Uhr von Pompeji aus gesehen und nach der Natur dargestellt von Gustav Bauer, Kunstmaler in Wien.

kollernd; es war ein Anblick voll imposanter Schönheit und voll Grausens. Weiter unten erst verlangsamte sich der Feuerstrom. Dann sah man, wie es von Zeit zu Zeit vor der dunkel-

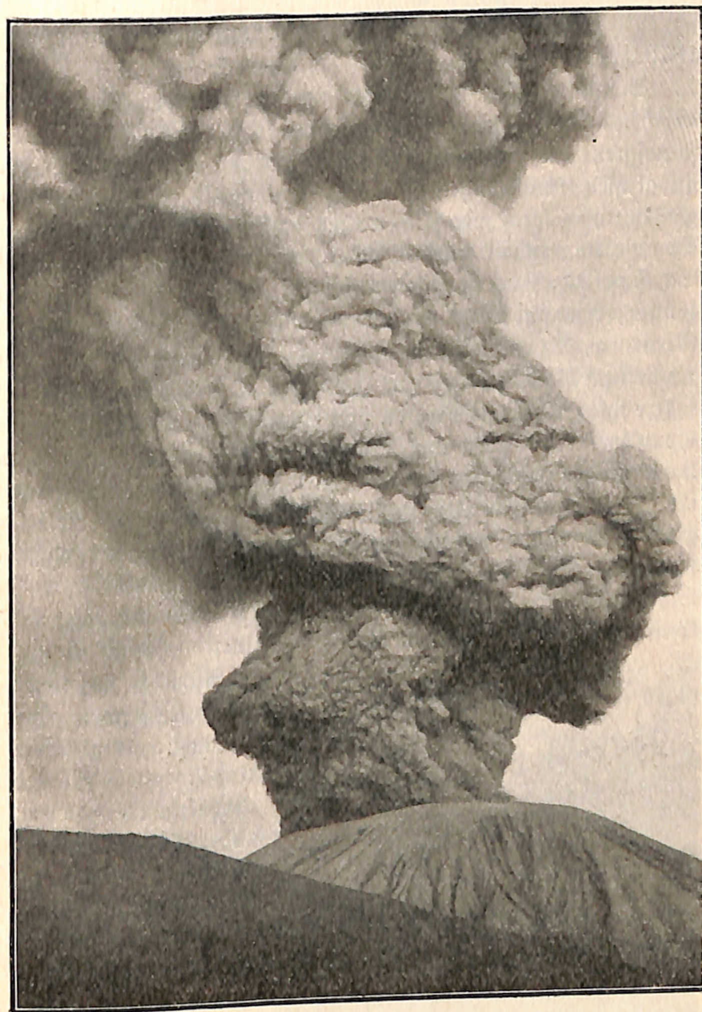
glühenden Zungenspitze des Ungeheuers hell aufflackerte: Der Strom hatte ein Haus oder einen Weingarten erfaßt und verschlungen. Wir sahen, wie er über Bosco Trecase hinwegflutete, und vor unserer Seele stand der ganze Jammer und die Verzweiflung der Menschen, die in wilder Flucht vor dem rasenden Feuerelemente all ihr armseliges Hab und Gut der Vernichtung preisgeben mußten, ja, vielleicht in diesem Augenblicke mit einem furchtbaren Tode rangen, während wir, im sichern Schiff geborgen, dem schrecklichen Schauspiel tatenlos gegenüberstanden. Alle Menschenkraft, alle Menscheninteligenz wären ja auch hier machtlos gewesen. Man konnte sich in die Zeit des Untergangs von Pompeji versetzen, wo auf den Rat des greisen Plinius Tausende sich auf das Meer gerettet und so wie wir jetzt, doch unendlich viel angstvoller, die Blicke auf den tobenden Feuerberg gerichtet hatten. (Das S. 73 wiedergegebene Bild stellt den Ausbruch der neuen Bocca dar, wie ihn der hervorragende Wiener Maler Gustav Bauer, der sich zufällig in Pompeji befand, während der Katastrophe selbst festgehalten hat. Es ist das einzige, meines Wissens, welches den Nachtausbruch völlig authentisch wiedergibt.)

„Ganz ungeheure Mengen von Lava ergossen sich aus dem Berge. Anderntags konnten wir feststellen, daß der Strom oben eine Breite von nahezu vier Kilometern hatte, während er sich weiter unten in vier kleinere Zungen teilte.

„Die Lava gab sehr große Mengen von Wasserdampf und Rauch ab, in die sich alsbald die ganze Umgebung hüllte. Es war deshalb bald überhaupt kein Standpunkt mehr zu finden, von wo aus man den Vesuv noch sehen konnte. Nur die wilde Bewegung der Wolkenmassen und ihr häufiges grellrotes Aufleuchten zeigte uns, daß die Eruption noch mit ungeschwächter Kraft fortdauerte. Wir aber fuhren nun nach Capri zurück.

„In der Nacht zwischen 1 und 2 Uhr hatte die Gewalt der Ausbrüche sich zu ihrem Maximum erhoben. Man sah um diese Zeit von Capri aus eine Explosion, die die glühenden Massen des Vulkans augenfällig viel höher hinausschleuderte als alle vorangehenden. Nach dieser aber trat eine relative Ruhe ein. Nur die Rauchwolke wirbelte zu ungeheuren Höhen

empor. Am folgenden Sonntagmorgen maß ich ihre Höhe zu 13 Kilometern."



Eruptionswolke des Vesuv.
Aufgenommen während des großen Ausbruchs im April 1906 von F. A. Perret

Nur der untere Teil solcher Eruptionswolke mit seinen charakteristischen blumenkohlartigen Gebilden ist hier abgebildet.

Die Eruptionen dauerten noch einige Tage fort, wenn auch mit beständig verminderter Kraft, und schon im Frühjahr 1907 scheint sich der Vulkan wieder auf die Solfatarentätigkeit beschränkt zu haben, in die er auch nach dem großen Ausbruch von 1872 zurückverfiel.

Meine eigenen Exkursionen in den folgenden Tagen und Wochen und die späteren eingehenden Untersuchungen vervollständigten nun noch wesentlich das vorhin gegebene Bild der gewaltigen Katastrophe. Es zeigte sich, daß die Hauptverwüstungen durch ausgedehnte Aschenregen jenseits der Ringmauer der Somma angerichtet worden waren, wo man, eben wegen dieses Schutzwalles, am wenigsten solches Ungemach voraussehen konnte. Die am Nordfuße der Somma gelegenen Ortschaften Somma, Ottajano und San Giuseppe wurden in jener Nacht zum Palmsonntag von ½10 Uhr ab mit heißer Asche und später mit glühenden Steinen überschüttet, die unter beständigem Donnern und Blitzen niederprasselten, mit ganzen Fetzen von Lava untermischt. Am dichtesten fiel der glühende Hagel gegen 2 Uhr hinab, um dieselbe Zeit, als wir von Capri aus die letzte große Explosion beobachteten. In Ottajano sind die meisten schwer massiv gewölbten flachen Dächer der Häuser von der Schwere der auflastenden Asche eingedrückt worden. In San Giuseppe stürzte das Dach der Kirche über mehr als hundert Menschen zusammen, die darunter begraben wurden. Durchschnittlich 75 cm hoch lag die Asche und die Lapilli (oder Rapilli), so nennt man die erbsen- bis walnußgroßen Stücke von Lava, die bei solchen Eruptionen ausgestoßen werden. Alles Kulturland in einem weiten Halbkreise hier im Norden der Somma ist auf lange Jahre verwüstet. Ottajano, das vordem 15000 Einwohner zählte, ist ein neues Pompeji geworden, aus dem man freilich nicht einstmals so gediegene Kunstschätze wieder hervorgraben wird, wie aus den Trümmern der unglücklichen Römerstadt.



Von der Asche eingedrückte Häuser in Ottajano.

Der Vesuv hatte nach der Katastrophe seine Gestalt wesentlich verändert. Er war merklich niedriger geworden. Vorher betrug seine höchste Erhebung 1335 Meter, nachher noch 1232 Meter. Die Öffnung des Kraters hatte vorher einen Durchmesser von etwa 60 Meter, jetzt betrug er 650 Meter. Die Grube war, als ich 1903 noch hinabblicken konnte, wohl kaum 50 Meter tief, jetzt schätzt man sie auf 300 Meter. Die ganze Kuppe des Vulkans ist also bei den Explosionen in jener Nacht auf den 8. April 1906 in die Luft geblasen und in ungeheurem Bogen über die Somma hinweg auf jene Ortschaften hinabgestürzt worden.

Wir wollen nun versuchen, an der Hand dieser Beobachtungen uns den Mechanismus dieser Eruptionen physikalisch zu erklären. Im Laufe der Vorgeschichte des Ausbruches konnten wir konstatieren, daß aus dem unbekannten Erdinnern die glühenden Gesteinsmassen in dem Vulkanschlote immer höher emporgestiegen waren, denn bald nach den großen Ausbrüchen von 1872 sowohl wie 1906, bei denen der Berg sich von großen Mengen von Lava befreit hatte, verriet sie sich weder durch fortgesetzte kleinere Eruptionen, noch durch Ausflüsse am Aschenkegel wie in den letzten Jahren vorher. Inzwischen aber stieg, aus zunächst unbekannten Gründen, die Lava langsam mehr und mehr in dem Schlote empor. Da sie immer eine große Menge von Gasen mit sich führt, die sich befreien müssen, so mehrten sich nun die kleineren Eruptionen, die mehr und mehr Steine teils in die Kratergrube, teils über ihren äußeren Mantel ausstreuten. Dadurch mußte der Kegel immer höher und spitzer werden. Die Lavasäule im Berge mußte höher hinaufsteigen, um sich befreien zu können, aber auch wegen der Verengung des Schlotes wurde ihr die Befreiung immer schwieriger. Die Spannungen und der Druck im Berge mußten sich fortwährend erhöhen. Die Lavasäule lastete namentlich auf den unteren Teilen des Aschenkegels und suchte hier durch Spalten oder lockerere Stellen einen Ausweg. Zuerst brachen wenig unterhalb des Kraterrandes die Glutströme hervor, weil hier der Kegel die geringste

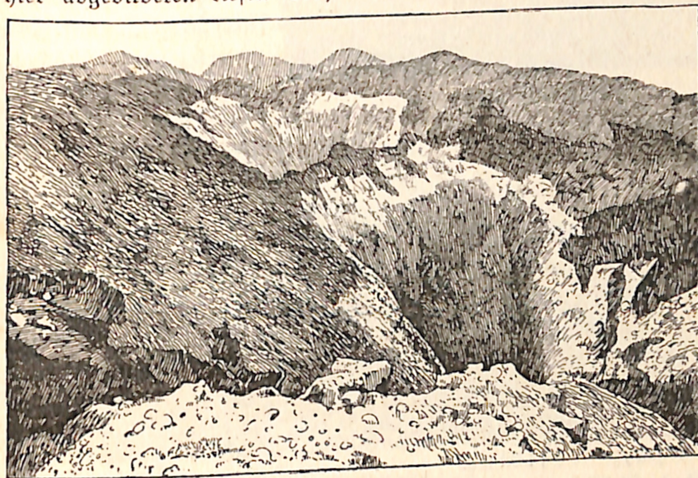
Dicke hat. Aber die Gewalt der schweren flüssigen Gesteinsmassen wurde immer größer. Sie spalteten den Berg auf, und nun flutete ein Riesenstrom daraus hervor, wie wir es in jener denkwürdigen Nacht vor unsern Augen geschehen sahen. Der Schlot oberhalb dieser Durchbruchsstelle wurde plötzlich von Lava befreit, seine Wandungen stürzten ein und verstopften das Kraterventil, aus dem bisher die Gase entweichen konnten. Nun ist das Verhältnis der Gase zu der sie einschließenden Lava genau dasselbe wie das der Kohlensäure zum Wasser: Es kann davon unter höherem Drucke mehr aufnehmen als bei geringem und läßt sie stürmisch los, wenn das Wasser von diesem Drucke plötzlich befreit wird. Das mußte nun auch mit den Gasen in der Lava geschehen, die nach dem großen Ausfluß am sich aufspaltenden Südostabhange des Aschenkegels unterhalb der Ausbruchsstelle noch zurückblieb, denn diese wurde nun plötzlich von dem Drucke der vordem bis zum Gipfel über ihr stehenden Lavasäule befreit. Ungeheure Gasmengen entwickelten sich, aber diese fanden nun den inzwischen eingestürzten Schlot verstopft; sie bliesen das Hindernis in die Luft: die letzte große Explosion erfolgte, die die ganze Kuppe des Vulkans auf Ottajano und die benachbarten Ortschaften niederstürzte. Jetzt hatten sich alle Spannungen befreit. Der Ausbruch hatte sein Ende gefunden.

Wir sehen aus diesen Darlegungen, daß sich die Erscheinungen der geschilderten Eruption und auch ihre periodische Wiederkehr nach längeren Pausen völlig erklären lassen, wenn wir in nicht allzugroßer Tiefe unter dem Vulkan beständig glühendflüssiges Gestein annehmen, das durch eine zunächst noch unbekannte Kraft langsam aber beständig emporgetrieben wird. Die ganze Erscheinungsreihe erhält dann, worauf Sueß zuerst hingewiesen hat, eine augenfällige Ähnlichkeit mit den Geiserausbrüchen, die uns als Nachklänge der eigentlichen vulkanischen Erscheinungen noch näher interessieren werden.

Es muß bei dieser Erklärungsweise besonders betont werden, daß es für sie durchaus nicht notwendig ist, daß der Vulkanschlot bis in ein etwa vorhandenes allgemeines Magmameer, das wir zur Diskussion gestellt haben, hinabreicht. Es kann sich hier in der Tiefe auch ebensogut ein sonst völlig abgeschlossenes Magmabecken, ein isolierter vulkanischer Herd befinden. Nur bleibt dann noch zu erklären, weshalb der Glutfluß beständig aus ihm empordrängt.

Aber nicht alle Vulkanausbrüche haben den gleichen Charakter, wie er hier beschrieben wurde, wie auch die Auswurfsstellen, die Vulkane, sehr verschiedene Formen zeigen, und durchaus nicht immer Berge zu sein brauchen.

In vielen Fällen ist die Explosion, die bei den Vesuvausbrüchen den Schlußakt des gewaltigen Schauspiels bildet, die erste und oft auch einzige Phase eines Vulkanausbruchs. Die hier abgebildeten tiefen Löcher wurden auf dem Gipfel eines sonst nicht vulkanisch tätigen Berges in Neu-Seeland durch eine gewaltige Explosion herausgesprengt, ohne daß etwas anderes als Gase aus ihnen entwichen; auch haben sie sich sonst nie wieder geregt. Ähnliches fand 1888 auf Volcano, einer der Lipareninseln nördlich von Sizilien, statt. Das umstehend abgebildete, von mir 1903 aufgenommene Kraterloch wurde ganz plötzlich aufgerissen und schleuderte dann mehrere Stunden lang mächtige Bomben aus, wie eine solche weiter unten auf einem ganz und gar mit solchen Auswürflingen besäten Felde gleichfalls dargestellt ist. Die auf dem Boden breitgedrückte Gestalt und seine brotrindenartige Kruste zeigen an, daß der mächtige

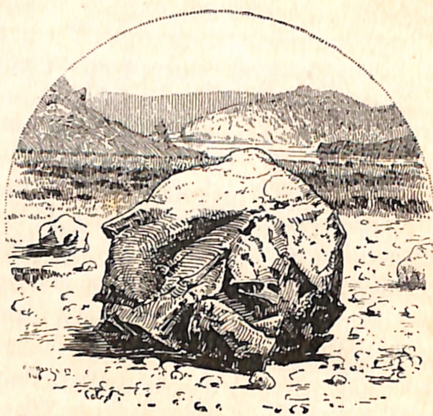


Explosionskrater auf dem Gipfel des Tarawera auf Neuseeland.
Nach einer Aufnahme von B. Friedländer.


Explosionskrater auf Volcano.

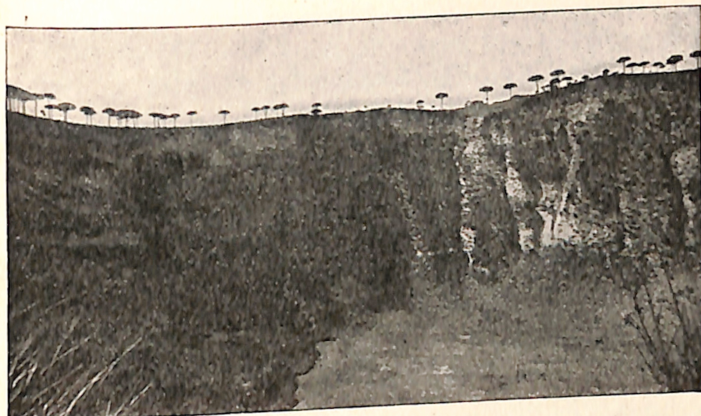
Block noch weich war, als er herabstürzte. Lavaergüsse aber haben bei der Explosion nicht stattgefunden. Solche Explosionen ereigneten sich auf Volcano mehrere in der gleichen Weise, was andere Kraterlöcher beweisen. Der Angriffspunkt der unterirdischen Mächte, die diese Sprengungen des Erdbodens bewirken, scheint hier in historischen Zeiten von Norden nach Süden weiter gewandert zu sein.

Auf der nördlich von Volcano gelegenen Hauptinsel Lipari kommen jetzt keine Eruptionen mehr vor, während von einem noch zur Römerzeit stattgehabten Ausbruch dort berichtet wird, ebenso von dem Ausbruch des „Volcanello", eines zwischenliegenden kleinen Vulkans, der sich der Insel Volcano nördlich anlagert. Auf Lipari selbst befinden sich die weltberühmten Bimssteinlager, über mächtigen Massen schwarzen, vulkanischen Glases, Obsidian. Das Vorkommen beider Gesteinsarten spricht gleichfalls von sehr plötzlich stattgehabten, explosiven Entleerungen von Lava aus dem Erdinnern. Obsidian ist eine Art Lava, die sich sehr schnell ihres Gasgehaltes entledigt hat, Bimstein ist eine völlig mit Luftblasen


Bombe des Volcano (Liparische Inseln), beim Ausbruch von 1888 ausgeschleudert.

durchsetzte, schnell erkaltete Lava. Ich habe den Vorgang der Entstehung beider scheinbar so sehr verschiedenen vulkanischen Gebilde vulgär folgendermaßen deutlich gemacht. Man denke sich eine Flasche mit einer dunklen, sehr kohlensäurehaltigen Flüssigkeit, sagen wir einfach, mit bayrischem Bier, gefüllt und plötzlich in einen sehr kalten Raum entleert, so daß der ausgestoßene Schaum und das Bier schnell gefrieren. Der Schaum ist der Bimsstein, das Bier der Obsidian.

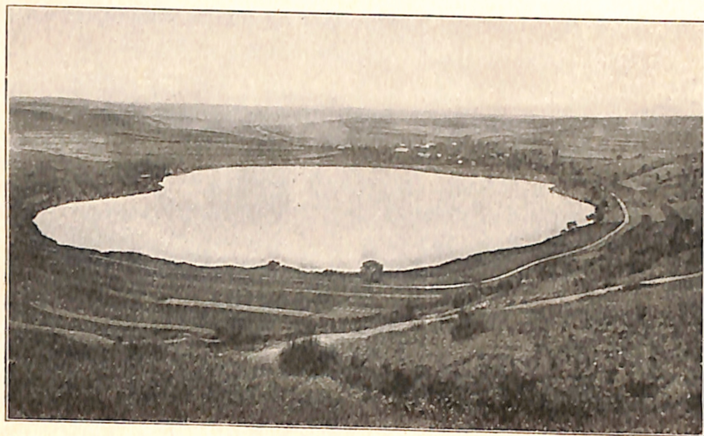
Einen gleichen explosiven Charakter zeigen, im scharfen Gegensatze zu dem heutigen Vesuv, die Vulkane der ihm benachbarten Phlegräischen Felder im Westen von Neapel.


Der Krater des Monte Nuovo.

Hier reiht sich eine ganze Anzahl von alten Vulkanen aneinander, deren Aufbau und Umgebung kaum einen Zweifel darüber lassen, daß sie je nur eine explosive Eruption gehabt haben. Dies bewies ad oculos die Entstehung des „Neuen Bergs" (Monte Nuovo), der sich hier am 29. September 1538 plötzlich in einem einzigen wilden Ausbruch erhob, so daß es nach der Schilderung eines Augenzeugen aussah, als wenn die Engelsburg der Feuerschlund wäre, der ringsherum mit aufrecht stehenden, sich berührenden Raketen besetzt sei, die nun in Brand gesteckt würden. Am 3. und 6. Oktober jenes Jahres folgten dann noch kleinere vulkanische Nachwehen, und seitdem ist der Berg ganz still geblieben. Das atmosphärische Wasser hat

Erdreich in den Schlund hinabgespült, der dadurch einen völlig ebenen Boden erhielt. Über ihm gedeiht jetzt auf das friedlichste ein Obstgarten. Lava ist aus dem Berge nirgends geflossen.

Wir haben Grund, anzunehmen, daß der ursprüngliche Vesuv einer ganz ähnlichen einmaligen Explosion seine Entstehung verdankte, durch die der einst vollständige Ringwall der Somma entstand. Dies geschah in vorhistorischen Zeiten. Dann aber sammelten sich die Spannungen der Gase in seinem Innern doch noch einmal allzu stark an. Es kam zu einer zweiten Explosion, die den südlichen Teil der Somma aufsprengte und niederwarf, Pompeji und die Nachbarstädte verwüstend. Seit-



Ein Eifelmaar.

dem aber ist der Vesuv dann in jene andere Art von Tätigkeit übergegangen, die ich vorhin geschildert habe.

Auch die Vulkane der Eifel sind nach neueren Ansichten durch einmalige Explosionen entstanden, die dann ganz gewaltiger Art gewesen sein müssen. Konnten dabei auch sehr große Mengen von Material in die Luft gesprengt werden, so mußten diese sich doch über ein ziemlich weites Areal verbreiten. Es konnten sich keine Aschenkegel auftürmen, wie bei den ständig tätigen Vulkanen. Daher bildete sich nur ein Ringwall, der teils von der Gewalt der Explosion selbst aufgeworfen wurde, teils aus den Auswurfsprodukten bestand. Das Kraterloch schloß

sich, wie wir es am Monte Nuovo sahen, und es konnten sich schließlich die atmosphärischen Wasser hier zu friedlichen Seen vereinigten, als die wir die „Mare" der Eifel heute bewundern.

Kratergebilde dieser Form, die sich als weite ungefähr ebene Flächen, von Ringwällen umgeben, darstellen, hat man Calderen, nach dem spanischen Caldera (= Kessel), genannt; deren Hauptrepräsentant, nach dem alle andern den Namen erhalten haben, befindet sich auf der kanarischen Insel Palma; es ist eine riesige kreisförmige Einsenkung von etwa 7 km Durchmesser, deren Ringwall nach innen sehr steil um 2000 Meter abfällt. Kraterboden wie Steilwand bestehen aus vulkanischem Gestein, das stellenweise deutlich verriet, daß es emporgepreßt wurde. Irgendwelche vulkanische Tätigkeit zeigt indes der Riesenkessel nicht mehr. Ganz besonders weist er keine Spur einer Auswurfsstelle, etwa eines Aschenkegels auf.

W. v. Knebel, ein junger Gelehrter, der vor kurzem auf einer Forschungsreise ins Innere von Island verunglückte und der sich besonders mit dem Studium der noch immer recht rätselhaften Calderagebilde befaßt hat, ist der Ansicht, daß sie auf drei ganz verschiedene Entstehungsweisen zurückzuführen sind. Er unterscheidet demnach Explosions-, Einbruchs- und Erhebungs- oder Riescalderen.

Mit der Entstehung der Explosionscalderen haben wir uns schon beschäftigt. Die plötzliche unterirdische Gasentwicklung, die diese Explosionen hervorbringt, können wir uns auf ganz ähnliche Weise hervorgerufen denken, wie bei der Schlußkatastrophe der letzten Vesuveruption, nur müßte alles in unterirdischen Hohlräumen vor sich gehen. Aus einer jener Tammannschen Kammern mag sich das Magma in eine andere ergießen, die leer war. Es befreit sich dadurch von einem allzuhohen Drucke, der jenen Durchbruch veranlaßte und füllt die leere Kammer mit den entweichenden Gasen. Befindet sich diese entsprechend nahe unter der Oberfläche, und ist ihre Decke nicht widerstandsfähig genug, so wird sie von dem Druck der Gase in die Luft geblasen. Es hängt dann ganz von den äußeren Umständen ab, ob nun nur Gase entweichen, oder ob diese mit „verspratzender" Lava, Bimsstein, Lapilli, Asche vermischt sind.

Lavaausflüsse aber können unter diesen Umständen nicht, oder nur ganz ausnahmsweise stattfinden.

Stellt sich die Decke der Kammer als widerstandsfähig heraus, oder findet der Vorgang in bedeutender Tiefe unter der Oberfläche statt, so werden Erdbeben die Folge sein.

Es kann aber auch der umgekehrte Vorgang stattfinden: Eine vorher mit Magma gefüllte unterirdische Kammer entleert sich teilweise irgendwohin. Die Decke, unter der nun ein Hohlraum entsteht, stürzt ein. Es öffnet sich das Erdreich über ihr, das Magma kann sich von einem Teil seiner Gase befreien, und es entsteht nun wiederum eine Explosion, die die Decke in die Luft sprengt. Auf diese Weise kann man sich die Einbruchscalderen entstanden denken, die aber auch ohne hervorbrechende vulkanische Tätigkeit durch bloßes Rückfließen der bereits einen Kraterboden bildenden Lava entstehen können, wofür wir bald noch ein Beispiel kennen lernen werden.

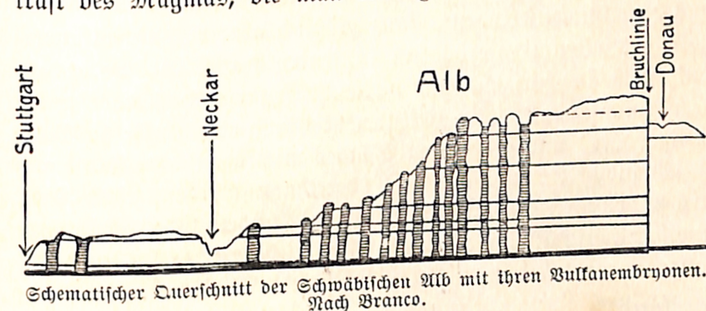
Die Erhebungscalderen oder -krater dagegen haben sich durch einen Auftrieb des Magmas durch Spalten gebildet, die nicht immer durch vulkanisches Gestein zu führen brauchen. Da diese Lavakeile das Gestein beiseite schieben, entstehen auch durch sie aufgeworfene Ringwälle, innerhalb deren die emporgetriebenen und nun zutage tretenden Lavamassen als Einsenkungen erscheinen. Solche Durchbrüche können natürlich auch in nicht vulkanischen Gesteinen stattfinden. Das „Ries" bei Nördlingen, am Nordfuße des Schwäbischen Jura, nach dem diese eigenartigen Vulkangebilde von ihrem Entdecker Branco Riescalderen genannt wurden, ist ein „Pfropfen" emporgetriebenen alteruptiven Gesteins (Granits) von 25 km im Durchmesser, der rings von den Sedimentgesteinen des Jura und anderer jüngerer Schichten umgeben ist.

Auch die merkwürdigen Basaltkegel der Schwäbischen Alb, denen wir zum Beispiel auf dem Eisenbahnwege von der Schweiz nach Stuttgart bei Singen begegnen, und von denen einer der Hohentwiel ist, verdanken solchen Magmaauftrieben durch Spalten des Gebirges ihre Entstehung. Die schematische Zeichnung auf Seite 85 deutet dies an. Hier haben sich die wahrscheinlich nur dickflüssig zutage getretenen Massen gar nicht zu eigentlich eruptiven Erscheinungen entwickelt; es sind Vul-

kanembryonen geblieben. In ihrer Umgebung sind die loseren Sedimentschichten vom Wasser teilweise abgetragen, so daß sie nun als isolierte Basaltkegel dastehen.

Geologische Funde in vielen anderen Gebieten haben gezeigt, daß solche Ergüsse des Magmas auch auf unterirdische Hohlräume beschränkt geblieben sind. Man findet oft weit unter der Oberfläche sogenannte Lakkolithe, Blasen vulkanischen Gesteins, das rings von jüngeren, aus dem Wasser abgelagerten Schichten umgeben ist. Diese wurden von der unterirdisch gebliebenen Eruption gelegentlich auch domartig aufgetrieben.

Diese Tatsache und jene Riescalderen wie auch die Vulkanembryonen der Schwäbischen Alb beweisen die eigene Auftriebskraft des Magmas, die man eine Zeitlang ernstlich bestritten

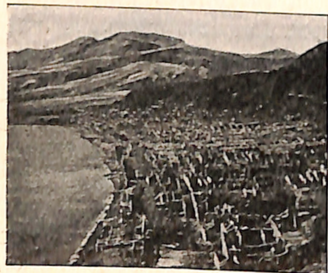


Schematischer Querschnitt der Schwäbischen Alb mit ihren Vulkanembryonen. Nach Branco.

hatte. Zuerst hatte man geglaubt, überhaupt alle Gebirge der Erde seien durch vulkanische Kräfte aufgeworfen worden. Als man dann aber sah, wie (nach dem damaligen Stande der Forschung) alle Vulkane nur als Aufschüttungsprodukte über Spalten in „ungestörtem", d. h. durch den vulkanischen Prozeß nicht aus seiner Lage gebrachten Gesteinen aufgesetzt waren, bestritt man überhaupt jene auftreibende Kraft des Magmas an sich, das eben nur hervorquillen sollte, wenn ihm die auf anderem Wege sich umgestaltende Erdkruste den Weg frei machte. Die oben erwähnten neueren Forschungsergebnisse stellen zwischen beiden extremen Ansichten einen Kompromiß her, wie es sich denn immer wieder herausstellt, daß die Natur alle möglichen Wege gegangen ist, weshalb eine einseitige Theorie niemals allein recht behalten wird.

Eine Gasexplosion furchtbarster Art war auch die Eruption des Mont-Pelé auf Martinique am 8. Mai 1902. Dieser Vulkan hatte seit 1851 völlig geruht und sich bis zu seinem Gipfel mit tropischer Vegetation bedeckt. Oben, in einer alten Kratereinsenkung, befand sich ein See mit klarem, kaltem Wasser. Nur an wenigen Stellen des Berges kamen schweflige Dämpfe aus Spalten. Vom Gipfel gegen St. Pierre zu, das von dem Vulkan, der etwa die Höhe des Vesuvs hat, kaum weiter entfernt ist, wie Neapel von diesem, hatten die atmosphärischen Wasser einen jetzt freilich trocken liegenden Flußlauf ausgewaschen, die Rivière blanche, der aber vielleicht von einer durch eine frühere Eruption in den Aschenkegel gerissenen Spalte vorgezeichnet worden war. Einige Tage vor dem großen Ausbruch sah man große Wasserdampf- und Rauchwolken aus dem Gipfel dringen. Ganz plötzlich aber riß, etwas unterhalb des alten Kraterbodens in jener Runse, der Boden auf und stieß in horizontaler, vielleicht sogar etwas nach unten gerade auf Saint Pierre zielender Richtung eine glutheiße Wolke giftiger Gase und glühenden Sandes mit furchtbarer Kraft und Geschwindigkeit aus. Es ist berechnet worden, daß diese „schwarze Wand", wie man das unheimliche Phänomen auch genannt hatte, das sich den Berg niederwälzte, bei einer Anfangstemperatur von vielleicht mehr als 1000 Grad, in Saint Pierre, nach einem Wege von 7—8 km, noch etwa 400 Grad heiß gewesen sein muß und mit einer Geschwindigkeit von gegen 150 Meter in der Sekunde über die Stadt hinfegte, alle Mauern, die sich ihr entgegenstellten, mit einem Druck von etwa 1900 kg auf den Quadratmeter niederreißend, während sie die in ihrer Richtung orientierten stehen ließ. Dadurch gewannen die Trümmer der Stadt den hier dargestellten eigentümlichen Anblick. In wenigen Minuten war die furchtbare Wolke über die Stadt hinweggefegt, alles Lebendige augenblicklich erstickend. Nur

Mont-Pelé



Trümmer von St. Pierre.

ein einziger Mensch, ein armer Gefangener, den man in dumpfem Kellergewölbe fast ganz von der sonst so wohltätigen Luft abgeschlossen hatte, entkam, zwar schwer durch Brandwunden verletzt, dem Tode, der in wenigen Sekunden die Bevölkerung einer ganzen Stadt, es waren ihrer 28000, erwürgt hatte. Auch bei dieser furchtbaren Explosion floß keine Lava aus dem Berge.

Sehr seltsam und für unsere Theorie außerordentlich charakteristisch war es, daß einige Zeit nach dem Hauptausbruch (dem übrigens in den folgenden Monaten noch eine ganze Reihe zum Teil kaum minder heftige folgten, die ganz denselben Charakter hatten), die alte Kraterkuppe, die von den Eruptionen an sich unversehrt gelassen war, von unten langsam senkrecht hinaufgepreßt wurde, so daß sie schließlich eine ungeheuere, freistehende Nadel bildete, die hierneben abgebildet ist. Die Nadel oder der Zahn ragte gegen 500 Meter über den Kraterboden und um 360 Meter über den Berg selbst empor, und man sah sie buchstäblich wachsen, gelegentlich um 10 Meter im Tage. Das geschah in ganz ruhiger Weise. Das wunderbare Gebilde bestand aus eben verhärtender Lava. In der Nacht sah man sie durch Spalten in der Oberflächenschale lebhaft glühen und sprühen, es war ein ungeheuerer natürlicher Leuchtturm. Häufig in Wolken gehüllt, konnte man ihn nicht dauernd verfolgen, und eines Tages war er in sich zusammengestürzt. Man fand seine Trümmer über den Kraterboden verstreut.



Die Nadel des Mont-Pelé.

Hier sah man also vor Augen, wie Lavamassen langsam, aber unaufhaltsam senkrecht emporgepreßt wurden. Der Vor-

gang hätte sich auch unter spaltigem, nicht vulkanischem Gestein abspielen können und dann entweder eine jener Erhebungscalderen oder einen Basaltkegel wie die der Schwäbischen Alb gebildet.

Durch jene vorhin erwähnte alte Flußrunse am Mont-Pelé gingen auch *Schlammströme* nieder, die man zuerst fälschlich für Lava gehalten hatte. Solche Schlammströme entstehen durch die Regengüsse, die gewöhnlich große Ausbrüche begleiten, und die dann die über den Abhang ausgeschüttete Asche als Brei hinabwälzen. In solchem gar nicht mehr heißen Schlamm ist Pompeji begraben worden. Bei dem letzten Ausbruch des Vesuvs, der den Aschenkegel, wie namentlich auch die Somma mit Asche überschüttete, hätten solche Schlammströme das größte Unheil auch noch lange Zeit nach dem Ausbruch anrichten können, wenn nicht glücklicherweise sowohl während der Katastrophe wie später merkwürdig wenig Regen gefallen wäre. Dennoch hat sich ein solcher Schlammstrom bis vor die Tore von Ottajano gewälzt, der aus dem schmelzenden Schnee im sogenannten Schneeloche der Somma sich entwickelt hatte.

Wir haben aber eine noch viel gewaltigere Explosion als die des Mont-Pelé zu verzeichnen, die in ihrer wilden, über den ganzen Erdball zu verspürenden Kraft einzig dasteht: die des *Rakata-Vulkans* auf der kleinen Sundainsel *Krakatau* (oder auch Krakatoa) vom 26. August 1883. Der an sich ganz unbedeutend erscheinende Vulkan war gleichfalls längere Zeit ruhig gewesen, und man konnte um so weniger eine verheerende Wirkung von ihm erwarten, als die zwischen Sumatra und Java gelegene Insel, auf der er sich befand, ganz unbewohnt ist. Nach einigen vorbereitenden kleineren Eruptionen geschah dort plötzlich eine so furchtbare Explosion, daß die erzeugte Rauch- und Dampfwolke mindestens 30 km emporstieg und nach den Berechnungen *Verbeeks* 18 Kubikkilometer Material auswarf. Dies geschah meist in Form feinst zerteilten Staubes, der sich jahrelang in den oberen Atmosphärenschichten hielt und von den dort stattfindenden regelmäßigen Luftströmungen viele Male um die ganze Erde geführt wurde. Er brachte die herrlichen *Dämmerungserscheinungen* hervor, die man *Nebelglühen* nannte, und später die sogenannten leuchtenden

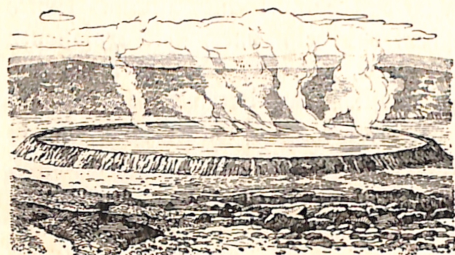
Wolken. Viele Leser werden sich der um die ganze Erde wahrgenommenen prachtvollen Morgen- und Abendröten noch erinnern. Der von der Explosion hervorgebrachte Donner wurde über den vierzehnten Teil der ganzen Erdoberfläche vernommen. Der Luftdruck schwankte in Batavia bis zu 50 mm, und die von dieser Schwankung erzeugte Luftwelle umkreiste, wie die Barometer auswiesen, die Erde gleichfalls mehrere Male. In Batavia wurden von der Luftdruckschwankung die Gasflammen ausgelöscht, die man wegen der hereinbrechenden Finsternis am Tage hatte anzünden müssen. 150 km von der Ursprungsstelle der Erschütterung zersprangen noch Fensterscheiben nur von der plötzlichen Lufterschütterung. Der in seiner fürchterlichsten Tätigkeit unter das Meer versinkende Vulkan erzeugte eine *Flutwelle*, die noch an den Küsten von Sumatra und Java bis zu 50 Meter hoch war und viele Kilometer weit ins Land vordrang. Sie vernichtete dort 40000 Menschenleben. Auch sie umkreiste die Erde mehrere Male, wie an den Pegeln aller Meere abzulesen war. Aus der Entfernung, bis zu der Bomben niederfielen, konnte man berechnen, daß einige von ihnen mit einer Anfangsgeschwindigkeit von mehr als 1000 Meter in der Sekunde bis zu 50 km emporgeschleudert worden sein mußten. Nach der Explosion fand man, daß die Insel in der Mitte durchgespalten und zur Hälfte in die Luft gesprengt worden war. Da, wo sich der Vulkan selbst befunden hatte, lotete man jetzt eine Meerestiefe von 300 Metern.

Hatten wir am Vesuv das Beispiel eines Vulkans kennen gelernt, der sowohl Aschen, das heißt durch Gas-Explosionen auf das feinste zerstäubte Lava, wie auch solche in kompakten, mehr oder weniger ruhig ausfließenden Strömen hervorbringt, und an den Vulkanen des Calderatypus wieder solche, die in meist nur einmaligem Ausbruch nur Gase und Aschen erzeugen, so gibt es nun auch reine *Lavavulkane*, die in verhältnismäßig ruhiger Weise ausschließlich meist sehr dünnflüssige Lava auswerfen. Sie breitet sich flach aus und bildet deshalb nur sehr langsam ansteigende Erhebungen, im Gegensatze zu den Aschenvulkanen, die steile Kegel aufrichten. Dabei können die oft außerordentlich starken und häufigen Ergüsse dieser Lavavulkane doch mächtige Bergrücken erzeugen. Das klassische Bei-

spiel eines solchen Vulkans ist der Mauna Loa auf Hawai, der sich mit Böschungswinkeln von kaum 5 Grad bis zu 4200 Meter erhebt. Die Besteigung solcher Vulkanberge bietet keinerlei Schwierigkeiten; man glaubt, fast beständig auf einer Ebene zu sein, nur wird die Wanderung um so langwieriger. Die steilen Aschenvulkane dagegen stellen wegen der Nachgiebigkeit ihres Materials recht hohe Anforderungen an den Besteiger.

Der Mauna Loa ist der größte Vulkan der Erde, wenn auch nicht der höchste. Sein Krater bildet eine mächtige Einsturz- oder Rücklaufcaldera von in der einen Richtung des elliptischen Kessels 6, in der andern 2,8 km Durchmesser und 245 Meter Tiefe. Er ist offenbar durch ein zeitweiliges Zurückziehen der Lava in das Erdinnere entstanden. Der Kraterboden ist wohl nur sehr dünn. An einer Stelle tritt die Lava, in der Nacht durch Spalten scheinend, zutage, und hier erheben sich von Zeit zu Zeit 10—15 Meter hohe Fontänen fast weißglühender, dünnflüssiger Lava, ein ganz großartiges Naturschauspiel. Verhältnismäßig wenig Dampf und fast gar kein Rauch wird dabei erzeugt. Die ganze Erscheinung verläuft mit einer gewissen majestätischen Ruhe. Freilich haben sich auch schon, wie 1852, solche Fontänen bis zu 200 Meter erhoben und 1855 ist ein Lavastrom von dem Berge ausgebrochen, der 72 km Länge, 6—7 km Breite und 20—80 Meter Mächtigkeit hatte.

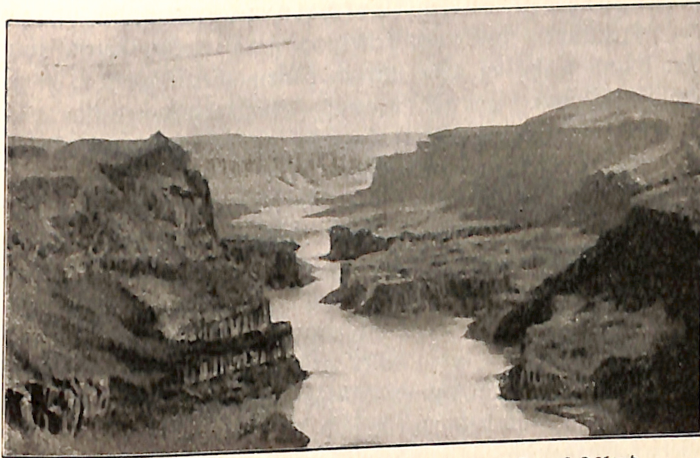
Am Fuße dieses Riesenvulkans befindet sich ein kleinerer, der Kilauea, der den wunderbaren Feuersee in sich schließt. Dieser liegt nur etwa 1200 Meter überm Meere, also an 3000 Meter niedriger als der Krater des Mauna Loa. Man konnte bis 1895 dicht an den Rand eines Beckens von etwa 250 Meter Durchmesser treten, das mit flüssiger Lava erfüllt war. Diese stand meist ganz ruhig darin, aber auch hier wurde,



Der Lavasee auf Hawai.

wie bei dem mächtigen Nachbarvulkan, die Lava in unregelmäßigen Intervallen fontänenartig 3—6 Meter emporgeworfen, worauf sich der See glühend-flüssigen Gesteins wieder völlig beruhigte. Aber 1895 hat sich die Lava plötzlich zurückgezogen, und der Rand des wunderbaren Gebildes ist in die Tiefe nachgestürzt. Eine Rücklaufcaldera ist entstanden. Ein ähnliches Spiel hat sich schon früher vollzogen. Es ist zu erwarten, daß mit den Jahren die Lava wieder steigen und einen neuen Feuersee bilden wird.

Es ist besonders zu betonen, daß die Ausbrüche der beiden benachbarten und einander so ähnlichen Vulkane doch ganz unabhängig voneinander stattfinden. Die Kanäle, welche die Lava zu beiden Vulkanen mit 3000 Meter Niveaudifferenz führen, haben keinerlei Verbindung miteinander; sie können weder in ein gemeinsames Reservoir noch in ein allgemeines Glutmeer des Erdinnern münden.



Ausgedehntes, von einem Fluß durchzogenes Lavafeld auf Island.

Ganz ähnliche Erscheinungen zeigt die ins Riesenhafte ausgedehnte vulkanische Tätigkeit auf Island. Hier haben sich kilometerlange Spalten gebildet, aus denen die Lava sich ergossen und weite Landstrecken überflutet hat. Wir haben es hier also gar nicht mehr mit eigentlichen Vulkanen, sondern mit ungeheuren Spaltenergüssen zu tun, die sich meist mit

einer gewissen Ruhe vollzogen haben. Unser Bild gibt eine isländische Landschaft wieder. Ein Fluß hat sich in ein Lavafeld eingegraben und legt an seinen Ufern die Basaltsäulen frei, zu denen sich die Lava unter einem gewissen Druck oft langsam auskristallisiert.

Da unter der schnell entstehenden Erstarrungskruste die Lava noch Jahrzehnte und Jahrhunderte bis in geringe Tiefen, und bis in größere, vielleicht selbst durch ein ganzes geologisches, nach Jahrtausenden zu bemessendes Zeitalter, sich sehr heiß zu erhalten vermag, wenn die Lavaschicht entsprechend dick war, so treten auf solchen Gebieten ungeheuerer Lavafelder nun sekundäre vulkanische Erscheinungen auf, die oft die der eigentlichen Vulkane verkleinert genau wiederholen, ihre Kraft und Nahrung aber nur in diesen oberflächlichen Lavaergüssen finden. So gibt es auf Island Vulkangebilde von an sich ziemlich beträchtlicher Ausdehnung, die vollkommene verkleinerte Nachbildung der hawaischen Vulkane sind, aber offenbar ihre Entstehung einem nur einmaligen Ausfluß von Lava aus dem Innern älterer Lavafelder verdanken.

Eine wunderbare Erscheinung wurde gleichfalls auf Island zuerst bekannt, die als eine Nachwirkung und zugleich Nachahmung vulkanischer Tätigkeit anzusprechen ist: es sind die Geiser. Island hat deren einen größeren und einen kleineren, die seit einigen Jahrzehnten recht unregelmäßig und träge geworden sind. Das berühmteste und am leichtesten zu erreichende Gebiet, wo man diese ebenso herrlichen wie großartigen Naturspiele stets bewundern kann, ist der Yellowstone-Park im nordamerikanischen Felsengebirge. Ich habe dort selbst Gelegenheit gehabt, eine ganze Reihe von großen Geisern in Tätigkeit zu sehen. Die größten aber trägt das in so vieler Hinsicht überaus interessante Neu-Seeland. Endlich sollen auch im unzugänglichen Tibet Geiser vorhanden sein. Die Erscheinung stellt sich als eine plötzlich aus einer mit heißem Wasser angefüllten kraterförmigen Trichtereinsenkung hervorbrechende Säule kochenden Wassers dar, die eine gewisse Zeit lang emporgeworfen wird, dann aber ebenso plötzlich ihr Spiel einstellt, um es nach einiger Zeit wieder in derselben Weise zu beginnen. Bei vielen Geisern ist die Zeit zwischen zwei Eruptionen ungefähr dieselbe,


Der Exzelsior-Geiser im Yellowstone-Park.

bei einem, dem „Alten Getreuen" (Old Faithfull) im Yellowstone-Park, sogar immer genau gleich 65 Minuten, wie ich selbst an drei aufeinanderfolgenden Ausbrüchen konstatieren konnte. Bei andern wieder ist die Zwischenzeit ganz unregelmäßig. Sie variiert zwischen weniger als einer Minute und Jahren. Der Old Faithfull speit 5 Minuten lang und wirft seine Wassersäule 40—50 Meter hoch. Beim Giant-Geiser, auch im Yellowstone-Park, steigt sie auf 80 Meter.

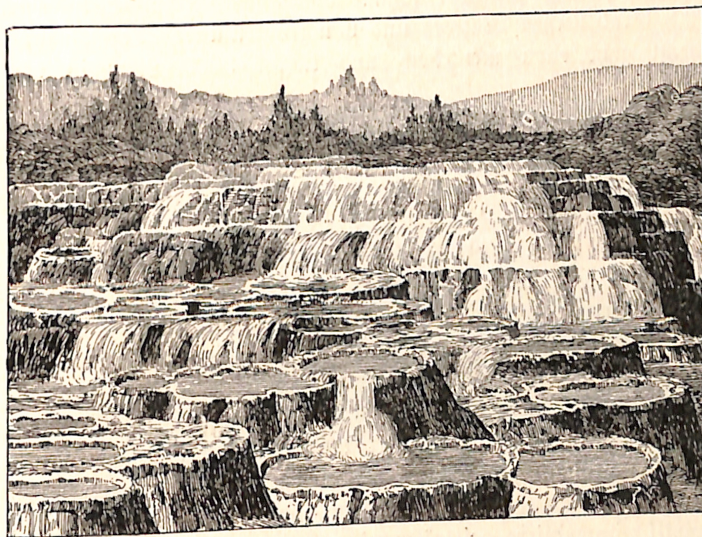
Die Entstehung dieses wundervollen Spiels können wir uns folgendermaßen vorstellen. In den auf vulkanischem Wege in ausgedehnten Lavafeldern entstandenen Einsenkungen, also kleinen, sekundären Kratern, hat sich das atmosphärische Wasser zusammengefunden. Über den alten Lavafeldern lagern heute Humusschichten, worin sich auch Wasserwege, Quellen speisend, gebildet haben. Während also wohl oben der Boden längst die gewöhnliche Temperatur angenommen hat, sind die Wände des vielleicht hundert und mehr Meter hinabreichenden Trichters noch heiß. Das Wasser darin wird also von unten geheizt. Nun kocht aber Wasser bei 100 Grad nur unter dem Druck von einer Atmosphäre. Auf hohem Berge kocht es bei niederer, unter höherem Druck erst bei höherer Temperatur. Bei zwei Atmosphären Druck gehören schon 121 Grad zum Sieden. Bei je 10,3 Meter Höhe einer Wassersäule erhöht sich der Druck um eine Atmosphäre. Das Wasser im Geiserrohre kann also wesentlich höhere Temperaturen als 100 Grad annehmen, ohne zu sieden. Aber bei der beständigen Zufuhr von Wärme aus der Tiefe muß doch einmal im Innern des Rohres irgendwo der Augenblick eintreten, wo der Siedeprozeß beginnt. Dadurch wird dann plötzlich, eruptiv, das über dieser Stelle befindliche Wasser emporgeworfen, und, weil nun das darunter befindliche „über-

hitzte" Wasser von dem Drucke der jetzt in die freie Luft geschleuderten Wassersäule befreit ist, beginnt es nun auch zu sieden und wird nachgeschleudert, bis der Siedeprozeß den Grund des Geiserrohres erreicht hat. Dann hört der ganze Vorgang plötzlich auf. Das meist senkrecht emporgeworfene Wasser fällt abgekühlt in den Trichterschlund zurück, erhitzt sich wieder langsam und erneuert sein Spiel.

Wie ich schon weiter oben andeutete, sind diese Geisereruptionen wahrscheinlich ein getreues Abbild der viel gewaltigeren Eruptionen glühendflüssigen Gesteins bei den Vulkanen vom Vesuvtypus. Denkt man sich im Erdinnern bis in große Tiefe reichende Gänge flüssiger Lava, die im Vulkanschlote an der Oberfläche münden, so wird auch in diesem sich die Temperatur durch die Wärmezufuhr aus dem Erdinnern beständig steigern und zu einem Sieden in der Tiefe führen müssen, wodurch die Explosion bewirkt wird. Bei der Eruption, sowohl des Geisers wie des Vulkans, ist eine gewisse Menge von Auswurfsprodukten weit außerhalb des Schlundes geschleudert worden. Deshalb steht zunächst die Flüssigkeit weniger hoch im Rohre. Sie nährt sich aber dann von unterirdischen Zuflüssen und füllt schließlich wieder das Bassin, beziehungsweise den Krater bis zum Rande. Der Druck steigert sich und bereitet die neue Eruption vor. Auch wenn wir uns unter den Vulkanen ein völlig abgeschlossenes Becken feuerflüssigen Gesteins denken, kann die Wärmezufuhr aus der Tiefe des Erdkörpers ein Schmelzen des umliegenden festen Gesteins bewirken, wodurch der Ersatz des bei der Eruption verloren gegangenen Materials besorgt wird, und zugleich auch die langsame Überhitzung bis zum Siedepunkt unter bestimmtem Drucke verursachen. Wir brauchen zur Erklärung dieser Art von Vulkanen also durchaus nur das Vorhandensein von Überresten eines einstmaligen Glutmeeres anzunehmen, das selbst nur Teile der Erdoberfläche überflutet hat.

Das in der Tiefe des Geiserrohrs zufließende heiße Wasser kann Mineralien lösen, die das bei der Eruption erkaltende nicht mehr festzuhalten vermag. Es lagert sich deshalb um das Geiserrohr Kiesel- und Kalksinter ab, wodurch zuweilen ein einem wirklichen Vulkanberge ähnliches Ge-

bilde entsteht. Da diese Sinter in der verschiedensten Weise gefärbt sein können, so bilden sich oft dadurch herrlich farbenreiche Gestaltungen aus. Hört die Geisertätigkeit allmählich auf, so daß nur noch heißes Wasser ruhig aus der Tiefe quillt, so können diese Sinterablagerungen sich auch ungestörter entfalten. Es entstehen dann wunderbare Terrassen, die mit vielfarbigem Gestein eingefaßte Becken tragen, gefüllt mit dampfendem, hellblau kristallklarem Wasser, feenhafte Badewannen. Gleich am Eingang zum Yellowstone-Park befinden sich solche



Kalksinterterrassen im Yellowstone-Park.

Terrassen, die Mammut Hot Springs. Sie sind hier abgebildet. Die wunderbarsten dieser Gebilde aber befanden sich auf Neu-Seeland, am Rotomahanasee. Bei einem heftigen Erdbeben in der Nacht vom 9. auf den 10. Juni 1896 entstanden furchtbare Explosionen unter diesen Becken, die sie in die Luft schleuderten, so daß von ihrer Pracht heute nichts mehr übrig ist.

Quillt das kieselhaltige heiße Wasser aus der Tiefe einem oben ziemlich weiten Trichter zu, so wird sich der Sinter zunächst an den Rändern des Beckens ansetzen und von da aus

oberflächlich nach der Mitte zu weiter wachsen. Es entsteht so eine Schale von hartem Kiesel über dem Becken, das nur an einer Stelle offen bleibt, um dem Wasser einen Ausfluß zu gewähren. So hat sich offenbar die „Sprudelschale" gebildet, auf der ein großer Teil von Karlsbad steht. Der Druck des von unten zuströmenden, sehr kohlensäurereichen Wassers ist dabei so groß, daß es aus dem Sprudelloche heftig herausgespritzt wird. Da die bereits unter der Sprudelschale frei gewordene Kohlensäure gleichfalls herausdrängt, so zeigt der Karlsbader Sprudel schnell abwechselnde Ausbrüche von 73,8 Grad heißen Wassers und von Kohlensäure. Der Wasserstrahl geht etwa meterhoch und liefert 3000 Liter in der Minute.

Wo solches heiße, mit Mineralien und Kohlensäure erfüllte Wasser ohne starken Druck zutage tritt, da haben wir die Thermen vor uns, als letzte heilbringende Nachklänge der sonst so zerstörenden vulkanischen Tätigkeit. Es ist anzunehmen, daß ein großer Teil dieses aus vulkanischem Boden stammenden Thermenwassers im Innern der Erde durch dieselben Vorgänge gebildet wurde, wie die Dampfwolken über den Vulkanschloten, daß also dieses Wasser das Licht des Tages vorher noch nicht erblickt und noch nicht mitgewirkt hatte an den vielartigen Aufgaben des Kreislaufes, der dem gewöhnlichen Oberflächenwasser vorgeschrieben ist. Wir unterscheiden deshalb das erstere von diesem beständig wandernden, vadosen Wasser als juveniles, jugendliches, und es bringt wirklich jugendliche Heilkräfte mit aus dem geheimnisvollen Erdinnern zu uns herauf.

Zu den abklingenden vulkanischen Erscheinungen haben wir nun noch die Solfataren, Mofetten und Schlammvulkane zu zählen, mit denen wir uns hier leider nicht näher beschäftigen können. Wer über alle diese vulkanischen Erscheinungen Ausführlicheres nachlesen will, dem darf ich vielleicht mein größeres Buch „Im Bannkreis der Vulkane" empfehlen, worin ich auch Schilderungen meiner eigenen betreffenden Studienreisen gegeben habe.

Solfataren oder auch Fumarolen nennt man solche vulkanischen Gebiete, in denen nur noch hauptsächlich schwefelhaltige Dämpfe zutage treten, was, wie wir wissen, auch bei sonst noch tätigen Vulkanen während ihrer Ruhepausen stattfinden kann. Ihren Namen haben sie von der „Solfatara" bei Puzzuoli in den Phlegräischen Feldern erhalten, wo am inneren Rande eines jener dort eng aneinander gereihten Explosionskrater ein heftig ausblasender Strom heißer Dämpfe beständig, soweit die Überlieferung zurückgeht, aus der Tiefe kommt. Der ganz ebene Boden des Kraters der Solfataren ist aus zusammengeschwemmter, fast völlig weißer Asche gebildet. Er klingt, wenn man schwere Steine darauf wirft, unheimlich hohl. Dieser Boden ist 1902 von heftig heraufdringendem heißem Wasser an zwei Stellen durchbrochen worden, wo es zuerst fontänenartig heraussprudelte. Später hat das Wasser sich mit der Asche zu einem Schlamm vereinigt, der von Gasblasen, die aus der Tiefe heraufkommen, in brodelnder Bewegung erhalten wird. Es hat sich ein Schlammvulkan gebildet.


Schlammvulkan im Kraterboden der Solfatara (Phlegr. Felder).

Unweit dieser „Explosionscaldera" befindet sich die berühmte Hundsgrotte, wieder am Innenrande eines großen Kraterringwalles, dem des jetzt trocken liegenden Lago d'Agnano. Sie ist das klassische Beispiel einer Mofette. Nur noch Kohlensäure steigt hier aus dem Erdinnern auf. Kohlensäure ist ein farbloses Gas, das schwerer ist wie die atmosphärische Luft. Es bleibt also in dem Höhlenraume auf dem Boden zunächst unbemerkt liegen. Aber da es bekanntlich für die Atmungsorgane in hohem Grade giftig ist, bekommt ein Hund, den man früher in diese unteren Teile der Höhle zu stoßen pflegte, sofort Erstickungsanfälle, während ein Mensch, der über dem Kohlensäureniveau steht, von ihr natürlich nicht angegriffen wird. Die Anwendung jenes grausamen Experimentes mit

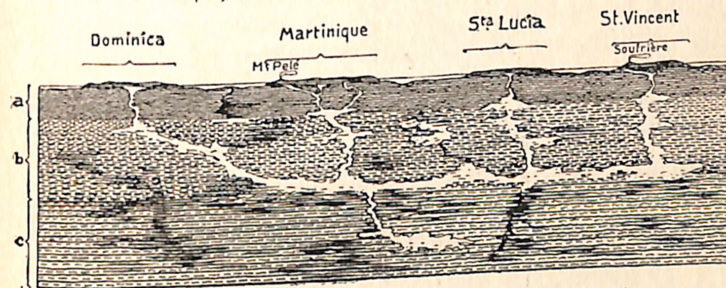
Hunden ist heute glücklicherweise untersagt. Man überzeugt sich von dem Fehlen atmosphärischer Luft durch einen brennenden Holzspan, der niedergetaucht, sofort verlöscht, um aufgehoben wieder in Brand zu geraten. Bekanntlich hat auch *Franzensbad* solche Mofette, die dort zu Heilzwecken verwendet wird.

Damit haben wir alle typischen Formen, unter denen die vulkanischen Erscheinungen zutage treten, überblickt, und es erübrigt uns noch, diese verschiedenartigen Tatsachen der Beobachtung, die wir auf vulkanischem und seismischem Gebiete gesammelt haben, in Zusammenhang mit den vorangeschickten Betrachtungen über den wahrscheinlichen Zustand des Erdinnern zu bringen, das die Ursprungsstätte derselben ist.

Was nun zunächst die vulkanische Tätigkeit betrifft, so verlangt sie nirgends das Vorhandensein eines allgemeinen unterirdischen Glutmeeres, ja in einigen Fällen verbot sie es ausdrücklich. Es wäre nicht möglich, daß die beiden benachbarten Vulkane auf Hawai relativ still in ihren Ufern eingeschlossene Lavaseen in ihren Kratern beherbergen könnten, die 3000 Meter Niveaudifferenz zwischen sich haben, wenn sie in ein gemeinsames Lavabecken münden würden. Hier befindet sich unter jedem der beiden Vulkane ein für sich bestehendes Magmareservoir. Auch der Umstand, daß fast niemals ein benachbarter Vulkan von einem noch so heftig ausbrechenden andern, der auf der gleichen Spalte mit ihm steht, in erhebliche Mitleidenschaft gezogen wird, zeigt, daß sie für sich bestehende Äußerungen unterirdischer Mächte sind, die zwar ursprünglich, als sich diese Vulkane „perlschnurartig“ auf die Spalte setzten, etwas Gemeinsames gehabt hatten. Je tiefer wir in das Wesen der Vulkane eindringen, desto klarer sehen wir, daß wenigstens bei weitem die meisten abklingende Erscheinungen einstmaliger viel gewaltigerer Revolutionen der Erdrinde sind, ephemere, vorübergehende Äußerungen des Erdinnern.

Diese Ansicht, die Vulkane zeitigten auf irgendeine, oder vielmehr auf sehr verschiedenartige Weise ihre eruptive Tätigkeit aus *gesonderten vulkanischen Herden* vertritt schon seit längeren Jahren der wohl zweifellos beste unter den lebenden Vulkankennern *Alphons Stübel*. Er war längst,

bevor die vorangeschickten theoretischen Untersuchungen zu demselben Ziele führten, allein durch das Studium der Vulkane zu der Überzeugung gekommen, die Erde sei bis in viel größere Tiefen fest, als man es damals annahm. Es haben dagegen in Urzeiten ungeheure *Überflutungen feuerflüssigen Gesteins* über eine bereits feste Erdrinde hin stattgefunden, ähnlich so, wie wir es jetzt noch bei den isländischen Vulkanspalten wahrnehmen. Diese Überflutungen konnten einstmals, mußten aber niemals die ganze Erdoberfläche überzogen haben. Denkt man sich also nur größere oder kleinere Glutmeere oder -seen entstanden, so können diese sich ebenso wie unsere Wasserseen mit Eis, mit einer Gesteinskruste überzogen und in der Tiefe jene Magmaseen zurückgelassen haben, die nach



Idealer Querschnitt der Erdrinde unter den Kleinen Antillen
a Sedimentgesteine; b Panzerdecke; c Erstarrungskruste der Planeten.
Nach Stübel.

dieser Ansicht die Vulkane speisen. Hier ist ein Querschnitt der Erdrinde dargestellt, wie ihn sich Stübel etwa unter den Kleinen Antillen als vorhanden denkt. Ganz unten befindet sich die feste *Erstarrungskruste* des Erdplaneten. Darüber liegt die *Panzerdecke* aus Granit und anderm Urgestein, die einstmals in ungeheuren Ergüssen beim Aufspalten des Planeten darüber hingeflossen und dann sehr langsam erstarrt ist. An der Grenze der Erstarrungskruste und der jüngeren Panzerdecke befinden sich die Magmaherde, die zum Teil, nicht immer, eine Verbindung mit oberirdischen Feuerbergen haben. In unserm Falle breitet sich ein solcher gemeinsamer Herd unter der ganzen Antillengruppe aus. Er setzt dadurch den Mont-Pelé auf Martinique mit der Soufrière auf St. Vincent in Ver-

bindung. Beide Vulkane haben in der Tat (eine Ausnahme von der Regel, wie wir wissen), gemeinsame Eruptionen gehabt. Auch zu den beiden andern Antilleninseln Dominica und Sta. Lucia führen Verbindungen mit dem Magmaherde hinauf. Hier sind aber die betreffenden Vulkane erloschen. Unter Martinique wird der ausgedehnte Magmaherd noch von einem tiefer in der Erstarrungskruste gelegenen gespeist. Wenn dieser durch irgendwelche Ursachen, etwa Zusammenpressung, Zerrung der Erdrinde, oder auch durch innere molekulare Vorgänge, auf die Stübel das Hauptgewicht legte, seinen Inhalt teilweise nach oben entleeren muß, so kann ein oberirdischer Ausbruch die Folge davon sein.

Man hatte dieser Ansicht Stübels trotz der großen Unterstützung, die sie durch die Tatsachen der Beobachtung fand, entgegengehalten, daß sie physikalisch unhaltbar sei, da die Lava eben nicht in derselben Weise erstarrte wie das Wasser, auf dem das Eis schwimmt. Wir haben von diesen Einwänden schon S. 14 gesprochen und gezeigt, daß sie durch die neuen Untersuchungen von Tammann hinfällig geworden sind. Ergänzen wir nun die Stübelsche Ansicht von der Struktur der Erdrinde durch die mehrfach besprochenen Tammannschen Kammern, so können wir uns alle Vorgänge der vulkanischen und Erdbebenerscheinungen wohl vorstellen, wenn auch im einzelnen noch viel zu erklären übrig bleibt. Wir haben meistens schon bei der Beschreibung der Erscheinungen selbst betreffende Andeutungen gemacht. Wir sahen, wie die nicht von oberirdischen Vulkanerscheinungen begleiteten großen „tektonischen" Erdbeben sich wohl durch Vorgänge in ausgedehnten Hohlräumen des Erdinnern erklären lassen, die etwa einer so gewaltigen Explosion wie der in der Sundastraße entsprechen, während die Erdbeben in der Hauptsache durch Einstürze solcher Hohlräume entstehen, die an der Oberfläche als Grabenbrüche, Kesselsenkungen, weite Spaltensysteme zutage treten. Diese Einstürze aber sind wieder die Folge der fortschreitenden Erkaltung und Zusammenziehung des Erdkörpers, oder der horizontalen Verschiebungen, die die Erdrinde durch die Faltung beim Kleinerwerden und durch etwaige größere Polverschiebungen in die jeweilig spannungsfreieste Lage zu bringen trachten.

Die Vulkane sind nur sekundäre Folgeerscheinungen dieses gewaltigen Vorganges, der die ganze Erdoberfläche in den geologischen Zeitaltern völlig umgestaltet hat. Es sind Geschwüre auf der Haut des Erdkörpers, da, wo Zerreißungen weit tiefer gehender Natur stattgefunden haben, lokalisierte Erscheinungen einer weit umfassenderen Störung des Gleichgewichtes, die sich dadurch auszugleichen sucht.

Wir verstehen nun auch, weshalb sich die Vulkane meist auf jenen großen Spaltensystemen und am Rande von Grabenbrüchen 2c. aufgereiht haben, und besonders auch, weshalb sich diese „Geschwüre" meist, aber nicht ausschließlich, an steil ins Meer abfallenden Küsten befinden. Wo die Erdschollen an Spalten so tief abrutschen, muß eben auch ein Meeresbecken in der Einsenkung entstehen, während sich gleichzeitig die Vulkane auf die Spalte setzen, um durch das dem verwundeten Erdkörper entströmende glutheiße Blut die Wunde wieder zu schließen. Die Vulkane sind Heilungsprozesse der irdischen Haut.

Früher hatte ein Teil der Geologen die Ansicht vertreten, die Nähe des Meeres sei notwendig für die Entstehung der Vulkane. In unterseeische Spalten sollte das Meerwasser bis zum angenommenen Magmameere hinabdringen, wodurch das Wasser in seine Bestandteile, Sauerstoff und Wasserstoff, getrennt werde, die gemischt das sehr explosive Knallgas ergeben, durch dessen plötzliche Wiedervereinigung die vulkanischen Erscheinungen zutage treten sollten. Es ist durchaus nicht unmöglich, daß in vereinzelten Fällen solche Bedingungen vorliegen. Die Krakatau-Explosion ist vielleicht so zu erklären, daß der Vulkan bei einem an sich nicht bedeutenden Ausbruche zusammenfiel und ins Meer versank, wodurch nun das Meerwasser in den Vulkanschlot hinabstürzte und ein fürchterlicher Kampf zwischen Feuer und Wasser entstand, der sich in diesen, den ganzen Erdball in seiner festen, flüssigen und luftförmigen Umhüllung erschütternden Explosionen ausdrückte. Man hat auch bei andern Gelegenheiten Meerwasser aus Vulkanschloten strömen sehen. So soll der Vesuv bei seinem Ausbruch von 1631 gleich nach den Lavaergüssen große Mengen heißen Wassers, vermischt mit allerlei Seetieren, auch Fischen, ausgeworfen haben, und zwar in Eruptionen, die sich am 18., 20.,

24. und 31. Dezember jenes Jahres in derselben Weise wiederholten. Man kann sich solche Vorgänge leicht erklären. Es ist selbstverständlich ebensogut möglich, daß sich ein Vulkanberg **unter** dem Wasser aufspaltet, wie wir es in verschiedenen Höhen über dem Meeresspiegel beobachten. Dann wird ein Teil des eingedrungenen Wassers sofort in Dampf verwandelt, der zunächst die überliegende Lava durch die bereits weiter oben vorhandene Bocca emporpreßt, um dann hier den Rest des Wassers gleichfalls zu entleeren. Solche Vorgänge bleiben aber vereinzelt. Im allgemeinen ist der Meeresschlamm das denkbar vorzüglichste Verkittungsmittel, um etwa auf dem Meeresgrunde sich bildende Spalten so schnell als möglich wieder zu schließen. Ferner haben eine Reihe von Untersuchungen es unzweifelhaft gemacht, daß gerade unter den Meeresbecken die Erdkruste ganz beträchtlich dicker und widerstandsfähiger sein muß, als unter den Festländern. Gibt es auch am Meeresgrunde ganz zweifellos viele große und äußerst tätige Vulkane, so reihen sich diese doch keineswegs parallel zu den Festlandvulkanen, wie man es annehmen müßte, wenn dieselben Ursachen, welche die oben an der großen Gebirgsfalte aufgereihten Vulkane erzeugte, auch am unteren Rande der Spalte unter dem Meere wirkten. Die unterseeischen Vulkane bilden vielmehr gesonderte Reihen, die sich ebenso wie die Festlandvulkane am oberen Rande eines Senkungsgebietes anzuordnen scheinen.

Auch bei den Ausbrüchen solcher unterseeischer Vulkane kann das Meerwasser nur eine sekundäre Rolle spielen, die ihre Gewalt nur erhöht, nachdem der erste Ausbruch durch Ursachen bewirkt wurde, die wir in größeren Tiefen zu suchen haben.

Es gibt in Zentralamerika viele sehr tätige Vulkane, die weit im Lande, bis zu 200 km von der Küste entfernt liegen. Die Lavavulkane von Hawai dagegen, die mitten aus dem größten und tiefsten Meere der Erde aufsteigen, fördern nur dünnflüssige, sehr heiße Lava, fast keinen Wasserdampf empor, und ihre Tätigkeit ist nicht explosiv.

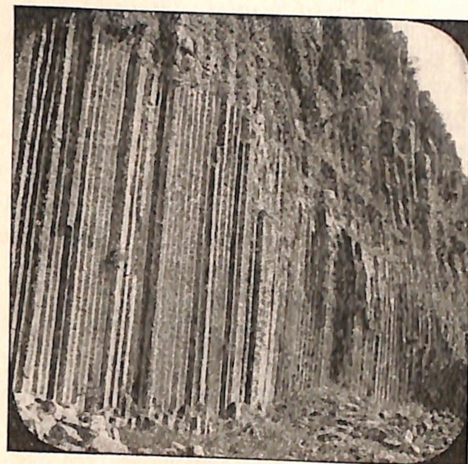
Wir hätten nun noch die gewaltigen Überflutungen des Erdballes mit feuerflüssigen Massen, die seine Panzerdecke erzeugte und den jetzt noch beständig aus den Vulkanen

stattfindenden Auftrieb dieser Massen zu erklären. Stübel hatte für den letzteren bereits den **Kristallisationsprozeß** in Anspruch genommen, der auch diese Magmen beim Erstarren ausdehnen sollte, wie das Eis. Dadurch müßten dann überliegende noch flüssige Massen herausgedrückt werden. Tammann hat gezeigt, daß dies beim Magma unter einem gewissen großen Drucke sehr wohl möglich ist. Aber ich meine, daß man zu solchen molekularen Vorgängen gar nicht seine Zuflucht zu nehmen braucht. Wo so gewaltige Senkungen, wie die der großen Meeresbecken stattfinden, da müssen ihnen auch teilweise Hebungen gegenüberstehen, die das Herauspressen des Magmas aus geschlossenen unterirdischen Räumen bewirken. Wie wir sehen, daß auch Einsenkungskrater Randberge auftreiben können, und andererseits die gewaltige Andenkette sich gerade am Rande der großen Einsenkung des Stillen Ozeans aufgeworfen hat, so erkennen wir ja gerade hier die Gegenwirkung des Auftriebs sehr deutlich vor Augen. Wir haben auch die Geiservorgänge als Ursachen solcher Auftriebe herbeigezogen.

In früheren geologischen Perioden ist die vulkanische Tätigkeit der Erde viel großartiger gewesen wie heute. Wir müssen annehmen, daß durch gewaltige Spaltenbrüche ganze Kontinente mit Magma überflutet worden sind, wie jetzt Island. Wo wir auch immer genügend tief in die Erdrinde bringen, da begegnen wir dem Panzer aus **eruptivem Urgestein**, den wir je nach seiner mineralogischen Beschaffenheit **Granit**, **Quarz**, **Glimmer**, **Porphyr**, **Hornblende** nennen. Wie verschieden nun diese Stoffe unter sich und von den heute durch die Vulkane ausgeworfenen Materialien sind, so zeigen sie doch chemisch eine sehr ähnliche Zusammensetzung. Es sind alles **Silikate**, Kieselsäureverbindungen, in der Hauptsache mit **Tonerde** (Aluminiumoxyd), und etwas chemisch gebundenem Wasser. So enthält der **Granit** etwa 76% Kieselsäure, 12% Tonerde, 1% Wasser, 1½% Eisenverbindungen, 5% Kaliumoxyd, 4% Natriumoxyd und Spuren anderer Stoffe. Unter den vulkanischen Produkten ist dem Granit der **Liparit** am ähnlichsten. Er enthält auch 76% Kieselsäure und 13% Tonerde. Bei den Laven unterscheidet man vornehmlich **basalti**-

sche und trachytische. Diese nennt man auch wegen ihres vorwiegenden Gehaltes an Kieselsäure saure, jene basische Laven. Der Trachyt der Eifel enthält 65% Kieselsäure und 18% Tonerde, die Basaltlava des Hekla 47% Kieselsäure und 13½% Tonerde, wozu dann noch größere Mengen anderer Oxyde treten.

Die basaltischen Laven kristallisieren sich unter dem Druck überlagernder Schichten in einem langsamen, in seinem molekularen Hergange noch recht geheimnisvollen Prozesse zuweilen in große aufrechtstehende, dicht aneinander gedrängte sechsseitige Säulen aus, wie sie unser Bild veranschaulicht. Solche Basaltsäulen kommen z. B. auch in den altvulkanischen Gebieten des Rheins in ausgedehnten Lagern vor und werden dort gewonnen, um namentlich in den verschiedenen Nordseehäfen zu Dammanlagen als natürlich aneinander zu fügende Pfähle von unverwüstlicher Haltbarkeit verwendet zu werden. Diese Basaltsäulen hat die Natur zu den phantastischsten Bauten gruppiert, deren berühmteste die Fingalshöhle auf der Hebrideninsel Staffa ist; sie gehört zu den eigenartigsten Naturwundern Europas. Die Säulen erreichen bis zu 30 Metern Länge und 20 cm Dicke. Ein ganz wunderbares Naturspiel besitzt neben so vielen andern in dieser Hinsicht auch wieder der Yellowstone-Park, wo sich solche Säulen aus schwarzglänzendem Glase, Obsidian, gebildet und zu einer hochaufragenden Klippe an einem herrlich spiegelnden See vereinigt haben. Dieser Obsidian hat wesentlich dieselbe Zusammensetzung wie unser gewöhnliches Glas; er besteht aus 75% Kieselsäure und 14% Tonerde.



Felswand aus Basaltsäulen.

Sehr häufig findet man in den Laven prächtige Kristalle eingebettet, in die sich die verschiedenen Silikate, wahrscheinlich während einer schnellen Erkaltung, verwandelt haben. So sind die Monti Rossi (Roten Berge), Parasitvulkane des Ätna bei Nicolosi, übersät von scharf ausgebildeten glänzenden Augitkristallen; auch der Vesuv ist reich an solchen kristallisierten vulkanischen Produkten: Spinellen, Hornblendekristallen, Granaten. Häufig auch findet man solche Kristalle massenhaft im erhärteten Lavaflusse selbst eingebettet, jedoch hier mit abge-



Ein Stück Vesuvlava mit rundlichen Einschlüssen.



Meteorstein mit abgerundeten Kristallen (Chondren). Gefunden im Sept. 1902 in Finnmarken (Norwegen).

schmolzenen Kanten, so daß sie zu rundlichen Einschlüssen geworden sind, wie es die umstehende Abbildung zeigt. Solche Lava gewinnt dann eine merkwürdige Ähnlichkeit mit gewissen Meteoriten der Chondriten, wie ein solcher auf Seite 105 abgebildet ist. Wie dieser Zusammenhang nicht nur zufällig ist, sondern mit großer Wahrscheinlichkeit darauf hindeutet, daß jene aus den fernsten Himmelsräumen zu uns herabstürzenden Gesteine einen ähnlichen Werdeprozeß der außerirdischen Welten verraten, von denen sie Bruchstücke sind, wie ihn unsere Erde durchzumachen hatte, davon habe ich ausführ-



Fladenlava des Vesuv.

licher in meinem Kosmosbändchen „Kometen und Meteore“ gesprochen.

Wir sehen, daß sich alle diese Produkte gleichen. Die Verschiedenheit ihres Aussehens rührt hauptsächlich von den äußeren physischen Umständen her, unter denen sie entstanden. Der Granit z. B. hat sich unter hohem Druck im Erdinnern auskristallisiert, während die Kristalle später durch die Bewegungen der Erdrinde und andere Einflüsse vielfach wieder zermalmt wurden, um andere Gesteinsarten zu bilden. Unter den vulkanischen Produkten unterscheidet man außer den beiden Hauptarten der

Laven noch die Tuffe, den Bimsstein, die verschiedenen Aschen ꝛc. Alle diese haben im wesentlichen dieselbe Zusammensetzung. Die vulkanischen Aschen tragen ihren Namen zu Unrecht; sie sind weiter nichts als äußerst fein zerstäubte Lava, Glasstaub könnte man sagen. Bimsstein haben wir schon als eine sehr blasenreiche Lava, als plötzlich erhärteten Lavaschaum kennen gelernt; die Tuffe endlich, die oft in riesigen Lagern namentlich die Explosionsvulkane umgeben, sind im Laufe der Zeit verhärtete, zu Gesteinschichten werdende Asche, in die größere Auswurfsprodukte, Lapilli und auch vulkanische Bomben vielfach eingebettet sind. Auch die beiden hauptsächlichen äußeren Formen, unter denen die Lavaergüsse auftreten, die Gekröse- oder Fladenlava und die Blocklava, brauchen sich chemisch gar nicht voneinander zu unterscheiden. Beide Formen sind hier nebeneinander dargestellt, und zwar beide vom Vesuv herrührend. Der Ausbruch von 1872 hatte hauptsächlich Fladenlava, der von 1906 Blocklava hervorgebracht. Die beiden Formen scheinen mit dem Flüssigkeitsgrade im Zusammenhange zu stehen, den die Lava bei ihrem Austritte besitzt. Auch zwischen basaltischer und trachytischer Lava kann derselbe Vulkan in seinen Ausbrüchen abwechseln.



Blocklava des Vesuv.

Wir können uns hier nicht tiefer in petrographische Studien der vulkanischen Auswurfsprodukte einlassen, wie interessante Betrachtungen über die Physik der eruptiven Tätigkeit sich auch daran knüpfen ließen. Uns muß es hier genügen, zu er-

kennen, daß kein prinzipieller Unterschied zwischen den kristallinischen Urgesteinen und dem Material zu finden ist, das auch heute noch aus den Tiefen der Erde geboren wird. Es hindert uns nichts, einen von Anfang an festen Erdkern anzunehmen, über den aus Spalten das Magma hinflutete, das aber erst, als es durch solche Spaltenbildung von einem zu hohen Drucke befreit wurde, nun flüssig werden konnte. Im allgemeinen aber kann der Zustand des Erdinnern bis zu einer gewissen Tiefe ein kritischer sein, den man nicht ohne weiteres in einen der drei Aggregatzustände zu ordnen vermag.

Solche Überflutungen feuerflüssigen Gesteins können auch durch kosmische Ursachen hervorgerufen worden sein. Denken wir uns die Erde aus einer Vereinigung einzelner Körper in der Art entstanden, wie ich es in der hier mehrfach herangezogenen „Weltschöpfung" näher beschrieben habe, so könnten größere solcher „Meteoriten" wohl durch den Aufsturz eine so große Hitze entwickeln, daß sie selbst mit der Erdscholle, die davon betroffen wurde, in Glutfluß gerieten. Entweder ein solches Ereignis oder eine aus dem Innern kommende Magmaüberflutung scheint sich vor einigen Jahrzehnten auf dem Jupiter ereignet zu haben, da man den auf seiner Oberfläche erschienenen und sehr langsam erblassenden sogenannten „Roten Fleck" kaum anders zu deuten vermag. Dieser Fleck nimmt auf jenem Planeten eine größere Fläche ein, wie auf unserer Erde Europa. Wenn auch sehr selten, so müssen doch auch noch jetzt mit unserm Planeten größere meteorische Körper zusammentreffen, und es ist wohl möglich, daß wenigstens ein kleiner Teil derjenigen von unsern Seismometern registrierten Fernbeben, die keine Bestätigung durch wirklich beobachtete Beben fanden, durch Meteoriten hervorgerufen wurden, die in unbewohnten Gebieten der Erde niedergingen.

So haben uns unsere Betrachtungen zum Kosmos zurückgeführt, in dem der unerschütterliche Mechanismus der himmlischen Bewegungen die Weltkörper in sicheren Bahnen unbekannten Zielen entgegenführt. Die seismischen und vulkanischen Vorgänge, wie entsetzlich sie auch nach menschlichem Maß toben, verschwinden in diesem wundervollen Getriebe kosmischer Erscheinungen. Aber auch sie sind — winzig kleine —

Schritte, die die Natur ihrer Vervollkommnung entgegen tut. Die allzu großen Spannungen müssen sich ausgleichen, die Erde sich mehr und mehr von ihrem tiefsten Grunde auf verfestigen. Schon haben die erdbildnerischen Mächte ein viel ruhigeres Wesen angenommen als in nicht so sehr weit zurückliegenden Entwicklungszeitaltern der Erde.

Und die Natur ist weniger grausam, als wir es wohl angesichts der furchtbaren Katastrophen, die wir hier schildern mußten, zu glauben verleitet werden. Rousseau, der immer die Rückkehr zu einfachen, natürlichen Verhältnissen predigte, hat bei Gelegenheit des Erdbebens von Lissabon ganz richtig bemerkt, daß das Unglück längst nicht so groß gewesen wäre, wenn die Menschen sich nicht unvernünftigerweise auf so einem kleinen Fleck in vielstöckigen Häusern zusammendrängten. Dasselbe hätte man jetzt von dem kalifornischen und chilenischen Beben wiederholen können. Die Japaner sind durch solche bösen Erfahrungen gewitzigter geworden. Sie bauen ihre Häuser leicht und niedrig.

Das vertieftere Studium hat uns auch längst schon manche Winke gegeben, deren Beherzigung viel Unglück hätte verhüten können. Wir vermögen heute die Gebiete genau anzugeben, wo die Erdbebengefahr eine große ist, oder wo man sie nicht zu fürchten hat. Die Erde ist noch immer groß genug. Man sollte auf den gefährlichen Gebieten keine großen Städte errichten, oder gar die zerstörten wieder aufbauen. Aber die Lehren der Wissenschaft werden immer noch zu wenig zu Rate gezogen. Da haben wir dann zum mindesten kein Recht zu murren, wenn uns die Natur immer wieder auf das schmerzlichste daran erinnert, daß sie in gewissen Erdgebieten noch ungestört bei ihrer Arbeit sein muß, um den Boden für unsere Bedürfnisse vorzubereiten. Der kleine Mensch soll ihr nicht in den Weg treten.

Sachregister.

Die Erdbebenkatastrophe in Süditalien.

Von Friedrich Regensberg.

Kurz vor dem Schluß des Jahres 1908 ist die auf den
vorstehenden Seiten ihren Hauptdaten nach verzeichnete Ge-
schichte der Erdbeben noch um ein entsetzliches Kapitel ver-
mehrt worden: die Katastrophe vom 28. Dezember in
Süditalien. Zum vierten Male innerhalb vierzehn Jahren
hat ein düsteres Verhängnis die Küsten von Kalabrien und
Sizilien betroffen und namenloses Elend über die von dem
unheimlichen Naturereignis heimgesuchten Gebiete gebracht. Auf
ein Erdbeben im Jahre 1894 war eine zehnjährige Ruhepause
gefolgt, dann kamen die furchtbaren Erschütterungen in Kala-
brien von 1905 und 1907 (S. 46), und noch hat sich das
arme Land von diesen Schicksalsschlägen nicht erholt, da bricht
die verheerende Gewalt von neuem los, auf beiden Seiten
der Meerenge von Messina Zerstörung, Verderben und Tod
verbreitend.

Während im September 1905 mehr die mittleren Teile
von Kalabrien heimgesucht wurden, und die beiden Seiten der
Meerenge von Messina wenig zu leiden hatten, sind diese
jetzt gerade am meisten betroffen worden. Das Zentrum scheint
diesmal gerade die Meerenge gewesen zu sein, und das heim-
gesuchte Gebiet ist bedeuteno größer als das von 1905 und 1907.
Außerdem traten zu den Schrecken der Erderschütterung noch ge-
waltige Erdbebenfluten hüben wie drüben, die sich über die
Ufer wälzten und das Zerstörungswerk vollenden halfen, indem
die 4 bis 10 m hohe Woge 600 m weit landeinwärts alles
vor sich herspülte.

Auf beiden Seiten der Meerenge von Messina liegen
zahlreiche Dörfer und Städtchen, ebenso einzelne Ansiedlungen
in Trümmern. Besonderes Interesse wendet sich natürlich
den beiden größten Orten dieses Erdbebengebietes zu: Reggio
in Kalabrien und Messina auf Sizilien. Messina, nach Pa-
lermo die größte Stadt Siziliens, mit 147 000 Einwohnern vor
der Zerstörung, zugleich einer der hervorragendsten Handelsplätze
von Italien und eine wichtige Festung, lag malerisch an der
42 km langen, aber nur wenige Kilometer breiten Meerenge
von Messina (dem Fretum S:culum der Alten), die die kala-
brische Halbinsel von dem dreieckigen Eilande Sizilien (der
größten Insel des Mittelmeeres) scheidet und das Tyrrhenische

mit dem Jonischen Meere verbindet; an sie knüpften die Alten die Sage von der Charybdis und Szylla. An den Abhängen des peloritanischen Gebirges zog sich die Stadt, die schon das große Erdbeben von 1783 beinahe vollständig in Ruinen verwandelt hatte, amphitheatralisch ansteigend, von der flach gerundeten Küste empor. Mit Palermo an malerischer Schönheit wetteifernd, war Messina zu einer der blühendsten und bedeutendsten Städte des modernen Sizilien herangewachsen, wozu neben der günstigen geographischen Lage nicht wenig der vorzügliche Hafen beigetragen hat. Dieser von einer Landzunge umschlossene Hafen ist sichelförmig gestaltet; davon hieß Messina im Altertum Zankle (Sichelstadt). Jetzt liegt die prächtige Beherrscherin des Tyrrhenischen Meeres, die auch eine ungemein reiche und wechselvolle historische Vergangenheit auszeichnete, und in der Goethe sein Mignon-Lied dichtete, nahezu vollständig in Ruinen. — Ein schreckensvolles Bild der Zerstörung bot nach der Katastrophe auch die kalabrische Provinzialhauptstadt **Reggio**, wo das dem Meere zunächstgelegene Stadtviertel wie vom Erdboden verschwunden ist. Reggio di Calabria, das Rhegium der Römer, in fruchtbarer Küstenebene liegend, mit etwa 44 500 Einwohnern, die einen lebhaften Handel trieben, hatte breite und regelmäßige Straßen und schmucke Häuser. Die rings um die Stadt gelegenen, üppig bebauten Anhöhen gewähren eine wundervolle Aussicht auf das Meer und die sizilianische Küste mit dem Ätna.

In Messina trat die Katastrophe um 5 Uhr 20 Min. früh ein. Wie der Kommandant des im Hafen liegenden Torpedoboots Saffo berichtet, erhob sich das Meer plötzlich wie ein brüllender Berg mehrere Meter hoch und warf alle im Hafen befindlichen Schiffe durcheinander, nachdem es mit dumpfem Getöse über den Hafendamm zerstörend hereingebrochen war. Auf der gegenüberliegenden kalabrischen Küste zerstörte die Meerflut die Eisenbahnlinie Lazzaro—Reggio auf einer 18 km langen Strecke. Der Erdstoß dauerte 37 Sekunden; am 30. verbreitete ein schwächerer Stoß neuen Schrecken. Wie eine Depesche des Direktors Ricco vom Observatorium in Katania meldet, haben sich die Docks des Hafens von Messina bis zum Meeresspiegel gesenkt; die Flutwelle sei an der sizilianischen Küste bis Syrakus und Termini gegangen. Sein Observatorium verzeichnete nach dem ersten heftigen Erdstoß noch 42 weitere Erschütterungen. Auf beiden Seiten der Meerenge hat die Katastrophe dauernde Veränderungen erzeugt; die kalabrische Küste ist flacher geworden, während die sizilianische andere Buchten und Tiefen aufweist. Ein Leuchtturm und mehrere Klippen sind vollständig verschwunden; die See ist an manchen Stellen zurückgegangen, an anderen über das Land eingedrungen. Die italienische Regierung wird, nachdem die

Rettungs- und Aufräumungsarbeiten der verwüsteten Orte planmäßig in die Hand genommen sind, umfangreiche hydrographische Aufnahmen im Gebiete der Erdbebenkatastrophe vornehmen lassen müssen, um festzustellen, ob die Straße von Messina ihre große bisherige Bedeutung für die Schiffahrt behaupten kann.

Wie die Beobachtungen auf den Erdbebenstationen oder seismischen Instituten, namentlich in Norddeutschland, gezeigt haben, scheint das Beben am 28. Dezember fast die ganze Erdkruste erschüttert zu haben. Um so wichtiger wird die Frage nach der Ursache dieser grauenhaften Katastrophe. Da sowohl der Vesuv wie auch der Ätna und der Stromboli in völliger Ruhe ver-



blieben sind, darf ein vulkanischer Ursprung des Naturereignisses wohl als ausgeschlossen gelten. Es ist vielmehr wahrscheinlich ein sogen. *tektonisches* oder *Dislokationsbeben* (S. 55) gewesen. Diese Beben besitzen überhaupt die größte Ausdehnung. Bei ihnen hat die Erschütterung ihren Sitz in der Erdrinde und ist auf Bewegungen der einzelnen Schichten zurückzuführen, in welche diese auf dem betreffenden Gebiete zerstückt ist.

„Es ist," führt Prof. H. J. Klein in der „Köln. Ztg." aus, „das große Verdienst von Eduard Sueß, zuerst das Auftreten der unterirdischen Gewalten, welche von Zeit zu Zeit Süditalien und Sizilien schrecken, unter großen, allgemeinen Gesichtspunkten aufgefaßt und erklärt zu haben. Er bringt

es in Zusammenhang mit dem gewaltigen Senkungsfelde, aus dessen Mitte sich heute die Liparen erheben, und dessen Rand teilweise durch die kristallinischen Massen des in die Tiefe versunkenen Gebirges gebildet wird. Dieser Bogen hat einen Radius von etwa 90 bis 100 km, Cocozzo, das vatikanische Kap, Scylla und das peloritanische Gebirge Siziliens liegen innerhalb, Sila und Aspromonte außerhalb desselben. Radiallinien konvergieren gegen die Liparen. Schon F. Hoffmann und später Judd haben gezeigt, daß innerhalb der Liparen südlich von Stromboli, nahe dem Mittelpunkt der oben genannten peripherischen Linie, eine Gruppe von kleinen Inseln und Klippen liegt, deren Bau von dem der übrigen Inseln abweicht. Denn während auf diesen größere und kleinere Krater als Anzeichen ebensovieler Ausbruchstellen sich erheben, besteht diese Gruppe nur aus den Trümmern eines einzigen gewaltigen Kraters, den Hoffmann als Zentralkrater der Liparen bezeichnet. Von dieser Gruppe laufen nach Hoffmann und Judd drei radiale Linien aus, welche mit Ausbruchstellen der Liparen besetzt sind, und man darf annehmen, daß sie in einer nahen Beziehung zu den radialen Stoßlinien der dortigen Beben stehen. Anderseits verläuft, dem Küstenrande nahezu parallel, durch ganz Kalabrien eine Bruchzone, die die Meeresstraße von Messina durchquert und sich nach dem Ätna hin fortsetzt. Es ist eine Randspalte des großen Einbruchsfeldes, und sie bildet ihrerseits eine Haupterdbebenlinie Süditaliens. Die tektonischen Verschiebungen auf diesen Bruchlinien sind es nun, die nach der Theorie von Sueß die vorhandenen Erdbeben in Kalabrien verursachen und noch heute die Gestalt der Oberfläche und der Küste verändern. Die Einbrüche werden auch nicht aufhören, bis ein großer Teil des Landes im Meere versunken ist. Allerdings vollziehen sich diese Einbrüche nur allmählich und innerhalb äußerst langer Zeiträume und nicht allein dort, sondern auch an vielen andern Stellen des Festlandes und Meeres, denn der Zusammenbruch der äußern Erdrinde ist ein allgemeiner und unaufhaltsamer Vorgang. Er hat freilich schon, wie Prof. Sueß betont, vor überaus langer Zeit begonnen, und nur die Kurzlebigkeit des menschlichen Geschlechts läßt uns dabei gutes Mutes bleiben, trotzdem die alten unterirdischen Kräfte noch immer wirksam sind, und wir annehmen können, daß die Veränderungen, welche sie vorbereiten, jenen ähnlich sein werden, die sie in der Vergangenheit herbeigeführt haben."



Satzung.



§ 1. Die Gesellschaft Kosmos will in erster Linie die Kenntnis der Naturwissenschaften und damit die Freude an der Natur und das Verständnis ihrer Erscheinungen in den weitesten Kreisen unseres Volkes verbreiten.

§ 2. Dieses Ziel sucht die Gesellschaft zu erreichen: durch die Herausgabe eines den Mitgliedern **kostenlos** zur Verfügung gestellten naturwissenschaftlichen Handweisers (§ 5); durch Herausgabe neuer, von hervorragenden Autoren verfaßter, im guten Sinne gemeinverständlicher Werke naturwissenschaftlichen Inhalts, die sie ihren Mitgliedern **unentgeltlich** oder zu **einem besonders billigen Preise** (§ 5) zugänglich macht usw.

§ 3. Die Gründer der Gesellschaft bilden den geschäftsführenden Ausschuß, wählen den Vorstand usw.

§ 4. **Mitglied kann jeder werden,** der sich zu einem Jahresbeitrag von M 4.80 = K 5.80 h ö. W. = Frs 6.40 (exkl. Porto) verpflichtet. Andere Verpflichtungen und Rechte, als in dieser Satzung angegeben sind, erwachsen den Mitgliedern **nicht.** Der Eintritt kann **jederzeit** erfolgen; bereits Erschienenes wird nachgeliefert. Der Austritt ist gegebenenfalls bis 1. Oktober des Jahres anzuzeigen, womit alle weiteren Ansprüche an die Gesellschaft erlöschen.

§ 5. Siehe vorige Seite.

§ 6. Die Geschäftsstelle befindet sich bei der **Franckh'schen Verlagshandlung, Stuttgart,** Pfizerstraße 5. Alle Zuschriften, Sendungen und Zahlungen (vergl. § 5) sind, soweit sie nicht durch eine Buchhandlung Erledigung finden konnten, dahin zu richten.

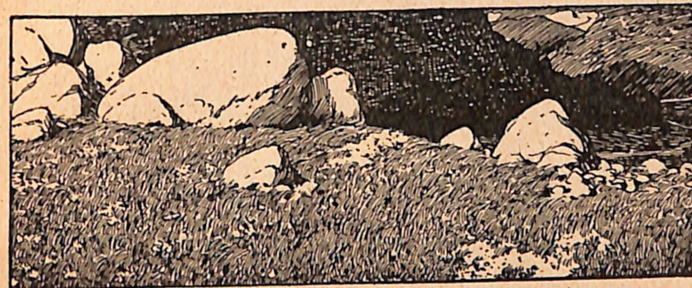
Im Jahre 1909 erhalten die Mitglieder außer der reichhaltigen Vereinszeitschrift (jährlich 12 umfangreiche, reich illustrierte Hefte) die folgenden ordentlichen Veröffentlichungen **gratis:**

Wilh. Bölsche

Der Mensch der Vorzeit

In farbigem Umschlag, reich illustriert

Preis geh. M 1.— = K 1.20 h ö. W.; gebdn. M 1.80 = K 2.16 h ö. W.



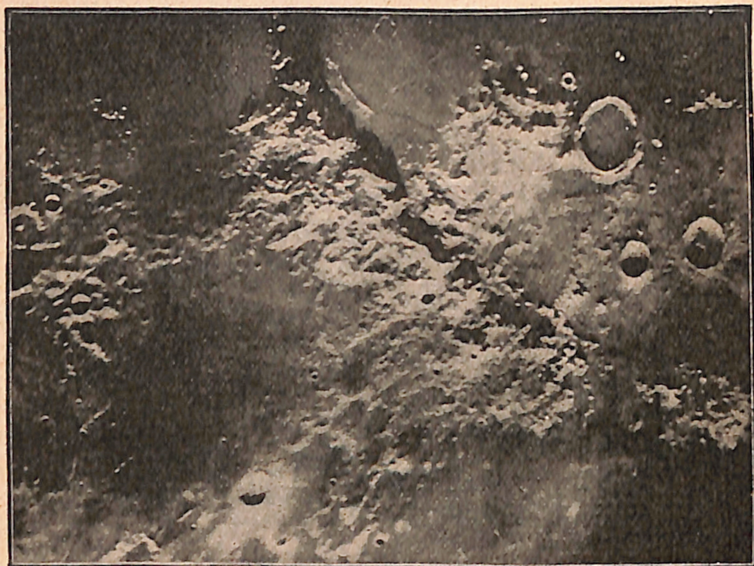
Ein neues Werk von Wilh. Bölsche bedeutet für die naturwissenschaftlich interessierten Kreise stets ein Ereignis. Dieser Band gibt Antwort auf alle Fragen, die die Forschung auf dem Gebiete des prähistorischen Menschen hervorgerufen hat. Die Arbeit geht keinem der großen Probleme aus dem Wege. Um nur ein paar Punkte herauszugreifen, so handelt sie von der Entstehung der Sprache; von der Zerteilung der Rassen; vom Ursprung der Technik im Werkzeug, in der künstlichen Feuererzeugung, in der Wohnung als Höhle, Zelt, Pfahlbau; von den Anfängen des Sozialen und der Moral, von Urfamilie und Urehe; von der Morgenröte der Kunst, ein Gebiet, das der Verfasser ganz besonders liebevoll behandelt; von der Stellung des Urmenschen zur übrigen belebten Natur, von den ersten Haustieren und Kulturpflanzen; vom Kampf mit den großen noch hereinragenden geologischen Gewalten, von der Eiszeit, der europäischen Steppenzeit, der diluvialen Tierwelt; von den Paradies- und Sintflutsagen und ihrem wissenschaftlichen Ersatz. Indem der Verfasser den Faden seiner spannenden Darstellung genau da aufnimmt, wo seine Schrift **„Die Abstammung des Menschen"** abbricht, bietet das Buch zugleich eine willkommene Fortsetzung dieses vielgelesenen Werks.

Dr. M. Wilh. Meyer

Der Mond

In farbigem Umschlag, reich illustriert

Preis geh. *M* 1.— = K 1.20 h ö. W.; gebdn *M* 1.80 = K 2.16 h ö. W.



Mondphasen, Finsternisse, die Gebirgswelt und die Krater unseres Trabanten, seine physische Beschaffenheit und viele andere Fragen finden in diesem Bande eingehende, kundige Darstellung, durch viele Abbildungen (zum Teil Originalaufnahmen) erläutert. Der Leser lernt eine ganz neue Welt kennen, deren Verschiedenheit von der ihr nahen Erdenwelt er nach dem Studium des Werkes physisch und genetisch begreifen wird.

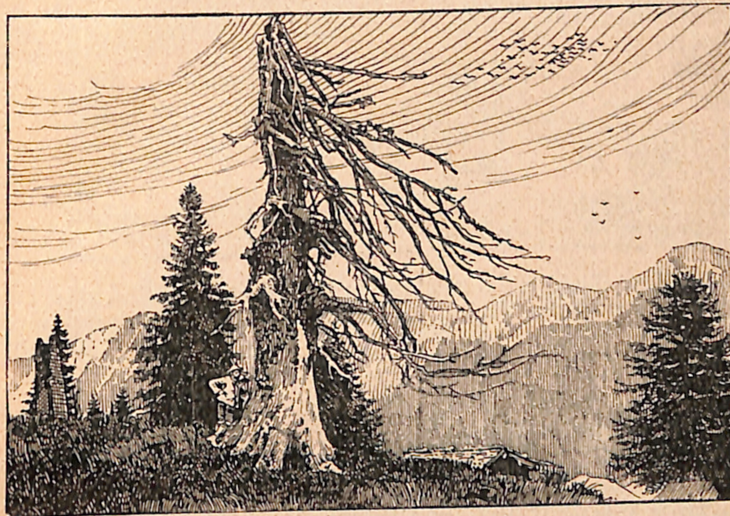
R. H. Francé

Bilder aus dem Leben des Waldes

In farbigem Umschlag, mit 2 Kunstdrucktafeln und zahlreichen Textbildern.

Preis geh. *M* 1.— = K 1.20 h ö. W.; gebdn. *M* 1.80 = K 2.16 h ö. W.

Warum sind die Blätter grün? Warum gibt es nicht überall Wälder auch unter natürlichen Verhältnissen? Warum tragen unsere Waldbäume nur unscheinbare Blüten? Wozu gibt es Moose und Pilze im Wald? Warum wachsen die Waldbäume gesellig? Warum sind im Tannenwald andere Blumen und Sträucher als im Buchen- oder Eichen- oder Föhrenwald? Warum sind die Wälder verschieden? Woher rührt die verschiedene Blattgestalt der Bäume? Warum verehrte das deutsche Altertum die Wälder? Was nützen die Insekten dem Walde? Diese und noch viele andere Fragen beantwortet das neue Büchlein Francés, das eine kurze Naturgeschichte alles dessen bietet, was dem denkenden Naturfreund auf einer Waldwanderung anziehend und geheimnisvoll entgegentritt. Er legt seinen Lesern aus der Tiefe des Waldlebens neue Tatsachen vor, er erzählt, wie sich die Bäume gegen



das Licht wehren, welche Hilfsmittel sie aufbieten, um es ökonomisch auszunützen; er greift auf die Kulturgeschichte über, entrollt entzückende Bilder des sinnigen Baumkultes unserer Altvorderen, er streut Wissen, Gedanken, Anregungen aus mit seiner schlichten Erzählerkunst und seiner innigen Naturliebe, deren Duft heiß aus seinem neuen Werke weht, daß es sehnsüchtig und feierlich stimmt, wie der Hochwald, von dem es handelt, in seinem tiefsinnigen Schweigen.

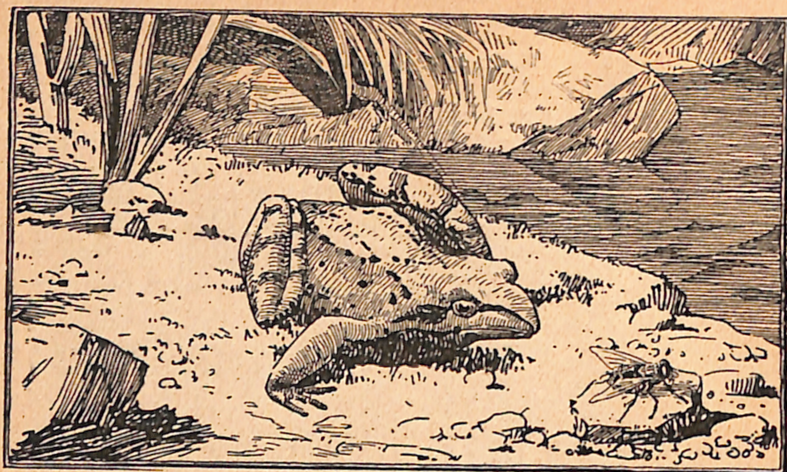
Dr. K. Floericke

Die Kriechtiere und Lurche Deutschlands

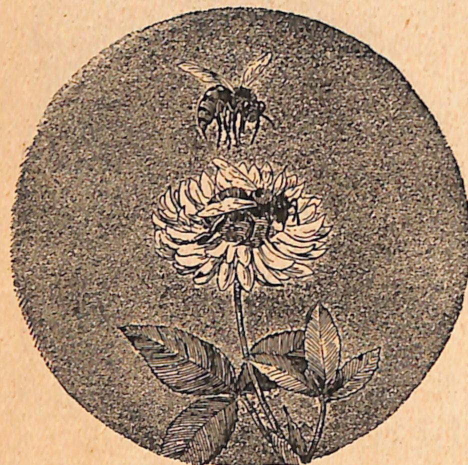
In farbigem Umschlag, reich illustriert.

Preis geh. *M* 1.— = K 1.20 h ö. W.; gebdn. *M* 1.80 = K 2.16 h ö. W.

Floericke, unser so rasch beliebt gewordener Zoologe, beschenkt uns mit einem Bändchen über unsere großenteils bekannten Amphibien und Reptilien, von deren geheimnisvollem Leben und Treiben jedoch die wenigsten



etwas wissen. Dieses Buch will die Vorurteile gegen die „häßlichen“ Kriechtiere zerstreuen, es gibt ungemein reizvolle Schilderungen ihrer Lebensweise, Fortpflanzung usw. und ist in unterhaltender und anregender Weise geschrieben.



Prof. K. Sajó

Die Biene

In farbigem Umschlag
:: Reich illustriert ::

Preis geheftet
M 1.— = K 1.20 h ö. W.

Preis gebunden
M 1.80 = K 2.16 h ö. W.

Dieses Werk, ein Seitenstück zu dem über die Ameisen desselben Verfassers, behandelt das Leben der **Honigbienen**. In ihren Hauptzügen werden uns vorgeführt: die Staatenbildung (Schwärmen), die Brutpflege, Honig- und Wachserzeugung, das Bauwesen, die Gewohnheiten und Fähigkeiten dieser dem Menschen am nächsten stehenden nützlichen Insekten, die einzigen Sechsfüßler, die Haustiere geworden sind. Das Büchlein enthält ferner die Grundzüge der Bienenzucht, mit geschichtlichem Überblick, von den Urzuständen bis zur modernen Imkerei.

Die Mitglieder des Kosmos haben bekanntlich nach Paragraph 5 III das Recht, außerordentl. Veröffentlichungen und die den Mitgliedern angebotenen Bücher zu einem Ausnahmepreis zu beziehen. Es befinden sich u. a. darunter folgende Werke:

	Preis für Nichtmitglied.	Mitgliederpreis
	M	M
Bölsche, W.: Schöpfungsgeschichte. Die 3 Kosmosbände: Abstammung des Menschen. Stammbaum der Tiere. Steinkohlenwald, in 1 Bd. geb. . . .	—	3.60
Bölsche, W.: Der Sieg des Lebens. Fein gebunden	2.—	1.50
Busemann, L.: Der Pflanzenbestimmer. Gebunden	3.80	2.90
Camerer, Dr. J. W.: Philosophie und Naturwissenschaft. Geb.	3.—	1.75
Diezels Erfahrungen a. d. Gebiete d. Niederjagd. Kartoniert . . .	4.—	2.50
Gebunden	4.50	2.90
Fabre, J. H.: Bilder aus der Insektenwelt. I. Reihe	2.25	1.60
Floericke, Dr. Kurt: Deutsches Vogelbuch. Gebunden	10.—	8.40
Francé, R. H.: Das Leben der Pflanze. I. Abteilung: Das Pflanzenleben Deutschlands und seiner Nachbarländer. 2 Halbfranzbände	30.—	27.—
II. Abteilung: Floristische Lebensbilder. Bd. I. Gebunden	15.—	13.50
Jäger, Prof. Dr. Gust.: Das Leben im Wasser.	4.50	1.70
Jahrbuch der Vogelkunde. I. Jahrgang. 1907 . .	2.—	1.60
Meyer, Dr. M. Wilh.: Die ägyptische Finsternis.	3.—	1.90
Meyer, Dr. M. Wilh.: Die Welt der Sonnen. Die 3 Kosmosbände: Weltschöpfung. Weltuntergang. Sonne und Sterne, in 1 Bd. geb. . . .	—	3.60
Musterkatalog der naturw. Literatur. Gegen Spesenersatz	—.50	—.20
Sauer, Prof. Dr. A.: Mineralkunde. Gebunden .	13.60	12.20
Schuster, W.: Wertschätzung der Vögel	2.25	1.20
Stevens, Frank: Die Reise ins Bienenland. Geb.	3.—	1.85
Thompson, E. S.: Bingo und andere Tiergeschichten. Fein geb.	4.80	3.60
Thompson, E. S.: Prärietiere und ihre Schicksale. Fein geb.	4.80	3.60

Volksbücher, Naturwissenschaftliche: Nr. 1 Koch, Schulgarten (Nichtmitgl. 25 ₰) 15 ₰ — Nr. 2/3 Kalender für Aquarien- und Terrarienfreunde (Nichtmitglieder 50 ₰) 40 ₰ — Nr. 4/6 Reinhardt, Wie ernähren wir uns am zweckmäßigsten und billigsten? (Nichtmitglieder 75 ₰) 60 ₰.

Ferner sind folgende Werke in Vorbereitung, die unseren Mitgliedern ebenfalls zu Ausnahmepreisen zur Verfügung stehen:

eine große Geologie von Dr. B. Lindemann
eine Paläontologie von Dr. Kurt Floericke
und anderes.

: : Die ordentlichen Veröffentlichungen : :

der früheren Jahre stehen **neu** eintretenden Mitgliedern, solange Vorrat, zu Ausnahmepreisen zur Verfügung

Jahrgang 1904

(Handweiser vergriffen) zusammen für M 4.— (Preis für Nichtmitglieder M 5.—), gebd. für M 6.20 (für Nichtmitglieder M 9.—):

Bölsche, W., Abstammung des Menschen.
Meyer, Dr. M. Wilh. (Urania-Meyer), Weltuntergang.
Zell, Dr. Th., Ist das Tier unvernünftig? (Doppelband.)
Meyer, Dr. M. Wilh. (Urania-Meyer), Weltschöpfung.

Jahrgang 1905

(Handweiser vergriffen) zusammen für M 4.— (Preis für Nichtmitglieder M 5.—) gebd. für M 6.75 (für Nichtmitglieder M 10.—):

Francé, R. H., Das Sinnesleben der Pflanzen.
Bölsche, Wilhelm, Stammbaum der Tiere.
Zell, Dr. Th., Tierfabeln.
Teichmann, Dr. E., Leben und Tod.
Meyer, Dr. M. Wilh. (Urania-Meyer), Sonne und Sterne.

Jahrgang 1906

zusammen M 4.80 ungebunden (für Nichtmitglieder M 7.80) und gebunden für M 7.55 (für Nichtmitglieder M 12.80):

Kosmos, Handweiser für Naturfreunde. 1906: 12 Hefte (Preis für Nichtmitglieder M 2.80).
Francé, R. H., Das Liebesleben der Pflanzen.
Meyer, Dr. M. Wilh., Die Rätsel der Erdpole.
Zell, Dr. Th., Streifzüge durch die Tierwelt.
Bölsche, Wilh., Im Steinkohlenwald.
Ament, Dr. W., Die Seele des Kindes.

Jahrgang 1907

zusammen M 4.80 ungebunden (für Nichtmitglieder M 7.80) und gebunden für M 7.55 (für Nichtmitglieder M 12.80):

Kosmos, Handweiser für Naturfreunde. 1907: 12 Hefte (Preis für Nichtmitglieder M 2.80).
Francé, R. H., Streifzüge im Wassertropfen.
Zell, Dr. Th., Straußenpolitik.
Meyer, Dr. M. Wilh., Kometen und Meteore.
Teichmann, Dr. E., Fortpflanzung und Zeugung.
Floericke, Dr. K., Die Vögel des deutschen Waldes.

Jahrgang 1908

zusammen M 4.80 ungebunden (für Nichtmitglieder M 7.80) und gebunden für M 7.55 (für Nichtmitglieder M 12.80):

Meyer, Dr. M. Wilh., Erdbeben und Vulkane.
Teichmann, Dr. E., Die Vererbung als erhaltende Macht im Flusse organischen Geschehens.
Sajó, Krieg u. Frieden im Ameisenstaat.
Dekker, Naturgeschichte des Kindes.
Floericke, Dr. K., Säugetiere des deutschen Waldes.

Jeder reich illustrierte Band ist auch einzeln käuflich und kostet Nichtmitglieder geheftet M 1.—, fein gebunden M 2.—.

Der Handweiser 1906 und ff. enthält u. a. die berühmten Schilderungen aus dem Insektenleben von J. H. Fabre, Aufsätze von Francé etc.

Die sämtlichen noch vorhandenen Jahrgänge der Kosmos-Veröffentlichungen (s. obige Zusammenstellung) liefern wir an Mitglieder:
geheftet für M 22.40 (Preis für Nichtmitglieder M 33.40)
gebunden für M 35.60 („ „ M 57.40)
auch gegen kleine monatliche Ratenzahlungen.

Die Bestellkarte nimmt jede Sortimentsbuchhandlung an. Wo der Bezug auf Schwierigkeiten stößt, schreibe man an die Geschäftsstelle des Kosmos, Gesellschaft der Naturfreunde, Stuttgart, die für Zusendung sorgen wird.

Unterzeichneter tritt auf Grund der Satzung dem **Kosmos**, Gesellschaft der Naturfreunde, Stuttgart, (Geschäftsstelle: Pfizerstr. 5) bei, erbittet seine Mitgliedskarte und erhält je nach Erscheinen kostenlos

den Jahrgang 1909

Jahresbeitrag M 4.80 = K 5.80 h ö. W. = Frs 6.40, zuzügl. 20 ₰ Bestellgeld, fällig im Januar 1909.

I. Kosmos, Naturwissenschaftl. Zeitschrift. Erscheint 12 mal jährlich.

II. Die ordentl. Veröffentlichungen 1909. Ab Januar 1909 erscheint alle 2—3 Monate ein Band.

Bölsche, Mensch der Urzeit.
Meyer, Der Mond.
Sajó, Die Biene.
Francé, Der deutsche Wald.
Floericke, Kriechtiere und Lurche Deutschlands.

Falls die ordentlichen Veröffentlichungen gebunden gewünscht werden, tritt ein kleiner Zuschlag für die 5 Einbände a Einband 55 Pf. (Nichtmitglieder a M 1.—) ein. Wir bitten, bei der Bestellung ausdrücklich zu bemerken, wenn gebunden gewünscht wird.

den Jahrgang 1908

Bestellungen werden auch nach Schluß des Jahres entgegengenommen und die Veröffentlichungen nachgeliefert gegen den sofort fälligen Beitrag von M 4.80 = K 5.80 h ö. W. = Frs 6.40.

I. Kosmos, Handweiser für Naturfreunde. 12 Hefte reich illustriert, in einem Band geheftet.

II. Die ordentl. Veröffentlichungen 1908:

Meyer, Erdbeben und Vulkane.
Teichmann, Vererbung.
Sajó, Ameisenstaat.
Dekker, Naturgeschichte des Kindes.
Floericke, Säugetiere des deutschen Waldes.

Falls die ordentlichen Veröffentlichungen hübsch gebunden gewünscht werden, wolle man dies ausdrücklich bemerken. Zuschlag für die 5 Einbände d. Jahrg. 1908 a Einband 55 Pf. (Nichtmitglieder a M 1.—).

K. 1909.

Ort, Name und genaue Adresse: ....

Der Beitritt kann für beide oder auch nur für einen Jahrgang erfolgen, in letzterem Falle unterlasse man ja nicht, den nichtgewünschten Jahrgang zu durchstreichen.

Hat der Besteller den einen oder andern Band des Jahrgangs 1909 schon zum Einzelpreis erworben, so wird auf Wunsch dieser Band nicht nochmals geliefert, sondern M 1.— am Mitgliedsbeitrag 1909 abgezogen. Es wird gebeten, dies ausdrücklich zu bemerken.

: : Die ordentlichen Veröffentlichungen : :

der früheren Jahre stehen neu eintretenden Mitgliedern

Bücherzettel.

An die

Buchhandlung von ....

Porto 3 Pfg. oder 3 Heller, falls ausser d. Namen der Buchhandlung u. der Unterschrift d. Bestellers keine weiteren schriftlichen Mitteilungen auf die Karte kommen.

(s. obige Zusammenstellung) liefern wir an Mitglieder:

geheftet für M 22.40 (Preis für Nichtmitglieder M 33.40)
gebunden für M 35.60 („ „ „ M 57.40)

auch gegen kleine monatliche Ratenzahlungen.